

# **PROCESSOS I GESTIÓ DE PROJECTES**

**CFGS Desenvolupament de projectes d'instal·lacions de fluids,  
tèrmiques i de manutenció.**

**Crèdit núm. 5: Processos i gestió de muntatge d'instal·lacions.**

**Professor:** Francesc X. BARCA SALOM



## Crèdit 5: PROCESSOS I GESTIÓ DE MUNTATGE D'INSTAL·LACIONS

1. Organització d'un projecte	
Cicle de la vida d'un projecte industrial.....	1
Fase de definició	
Fase de concepció	
Fase de construcció	
Fase de posada en marxa	
Fase de cessió	
Ordre i duració de les fases	
Resum i activitats	
Principis de la gestió de projectes.....	13
Estructura de l'empresa	
Organigrames	
Model lineal o jeràrquic	
Model funcional	
Model mixt	
Model divisional	
Per productes	
Per àrees geogràfiques	
Per estructures mixtes.	
L'organització matricial	
Model matricial	
La influència de la estructura de gestió d'un projecte en l'obtenció de l'èxit.	
Programació i control de projectes mitjançant grafs.....	20
Història dels diagrames i grafs de programació de projectes	
Característiques dels mètodes de programació i control de projectes	
Tipus de lligadures	
Resum i activitats.	
El diagrama GANTT	
El mètode PERT	
Activitats virtuals	
Les dates màxima i mínima	
Folgança i camí crític	
Determinació de recursos	
2. Mètodes de treball.....	43
Millorar el treball	
Definicions i símbols	
El full de procés	
Diagrama d'operacions de procés	
Diagrama d'anàlisi de procés	
Diagrama de circulació	
Activitats simultànies i micromoviments.	
Diagrama de moviments de mans	
3. Distribució en planta.....	63
Càlcul de la superfície total.	
Classes de distribució en planta.	
Elecció de la distribució en planta més adequada.	

## El mètode dels hexàgons

4. Mesura del temps de treball .....	71
Importància de la mesura del temps	
Procediments per a mesurar el temps	
Mètodes d'observació directa	
Sistema de normes de temps predeterminats	
Mesura del temps per cronometratge	
El nombre d'observacions necessàries	
Els suplements de descans	
5. El manteniment industrial.....	95
Definició i conceptes bàsics	
Metodologia del manteniment	
El manteniment correctiu	
Els manteniments preventius	
Evolució del manteniment	
Exercicis	
6. El material a mantenir.....	108
Classificació del parc de material.	
El coneixement de la màquina: l'inventari, el dossier màquina i el fitxer històric.	
La patologia del material.	
Càlcul de la taxa de fallada	
La fiabilitat	
Models estadística de la fiabilitat.	
Model estadístic en període de vida útil	
Model estadístic en període de desgast	
Model estadístic en període de rodatge: La llei de Weibul	
Estructura del paper d'Allan Plait.	
Aplicació del MTBF.	
Fiabilitat de sistemes	
Mantenibilitat	
Disponibilitat	
Exercicis	
7. Gestió d'estocs.....	141
Definició d'estoc.	
Necessitat dels estocs.	
Funcions que exerceixen els estocs.	
Classificació dels estocs.	
Factors que intervenen en la gestió d'estocs	
Mètode d'aprovisionament	
Model de Harris-Wilson	
Avantatges dels grans magatzems.	
Descomptes per comprar a l'engròs	
Demanda insatisfeta	
Exercicis	



# 1. ORGANITZACIÓ D'UN PROJECTE

## 1.1 Cicle de la vida d'un projecte industrial

Un projecte industrial pot ser analitzat considerant el seu cicle de vida. Tot projecte com tot sistema de producció té unes fases naturals de desenvolupament aquestes fases constitueixen el seu cicle de vida.

Les fases del cicle de la vida d'un projecte són:

1. Fase de definició.
2. Fase de concepció
3. Fase de construcció
4. Fase de posada en marxa
5. Fase de cessió.

Aquestes fases serveixen tant per a la realització d'un projecte com per al desenvolupament d'un nou producte, l'automatització d'una nova línia de producció, la construcció d'una nova planta de producció, el trasllat d'un departament, la reorganització d'una empresa, la realització d'un ajustament de plantilla o la realització d'un estudi de costos.

### 1.1.1. Fase de definició

Aquesta fase és aquella en què la idea es concreta i en la qual es realitzen els estudis i les avaluacions preliminars. En aquesta fase s'analitza l'entorn, es preparen previsions, s'avaluen els objectius i alternatives i es realitza un primer examen del desenvolupament del projecte. Aquí també s'estableixen les bases de l'organització i les necessitats de recursos per a dur a terme més endavant el projecte.

Si la fase de definició s'enfoca adequadament es podrà desestimar aquell projecte que no té possibilitats de supervivència. La taxa de mortalitat dels projectes potencials durant la fase de definició és alta i és millor que sigui així ja que així s'eliminen aquells projectes que be tècnicament o econòmicament no són viables.

En aquesta fase és necessari realitzar un estudi d'objectius i un estudi de requeriments.

**Estudi d'objectius:** És una etapa decisiva del projecte ja que en ella s'estableixen els objectius. Cal tenir present que de vegades els clients no solen indicar els veritables objectius que es pretén amb el projecte o els responsables de realitzar-los es fan una idea equivocada de l'objectiu. Per això cal fer-se la pregunta: perquè ha de servir el projecte que ens han encarregat? I donar-hi una resposta.

L'estudi d'objectius ha de ser breu i econòmic i ha de plasmar de manera clara i coherent els desigs del client. Aquesta definició inicial del projecte és fonamental per a les altres fases i ha de servir per estimar si la definició és prou interessant per a seguir amb el projecte.

**Estudi de requeriments:** És un informe que pretén donar resposta a la pregunta: Existeix la idea, però, es pot realitzar?. Per això cal elaborar un estudi on es tingui en compte, a més dels objectius ja definits en l'estudi d'objectius, les qüestions següents:

- a) Com ha de ser? Això vol dir fer un disseny previ.

- b) Quines alternatives hi ha? Això implica fer un a comparació d'alternatives i seleccionar-ne la més interessant.
- c) Com es pot fer? Això vol dir veure quin tipus de tecnologies s'hauran d'utilitzar.
- d) Quant costarà? Caldrà doncs fer un estudi aproximat de costos.
- e) Serà rendible? Fer un estudi de rendibilitat.
- f) Que necessitem per poder-lo fer? Fer una anàlisi dels recursos humans, organitzatius, informàtics etc.
- g) Quan temps trigarà a fer-se? Fer el calendari previst.

Totes aquestes respostes han de redactar-se en un informe que on quedi clar les possibilitats i la rendibilitat del projecte.

Aquest informe servirà per prendre la decisió de continuar el projecte o de cancel·lar-lo. En algunes ocasions es pren una decisió intermèdia que consisteix en reconsiderar els objectius inicials.

### 1.1.2. Fase de concepció

Aquesta fase ha de servir per determinar, el més aviat possible i amb la major precisió les especificacions, els costos, el programa, les prestacions i les necessitats de recursos. La fase de concepció permet revisar i confirmar els plantejament que s'havien fet en la fase anterior. Caldrà doncs distingir entre la concepció general i la concepció detallada.

**Concepció general:** Es tracta de fer un estudi detallat de cada una de les solucions possibles que encara estiguin en consideració. S'haurà de redactar un document complet i coherent que inclogui les característiques tècniques principals, el calendari, les estimacions de costos (més precisos que en l'estudi de la fase anterior) els recursos necessaris i les recomanacions.

**Concepció detallada:** Consisteix en descompondre el projecte en subprojectes de manera que puguin ser assignats a aquelles persones o entitats que els han de realitzar. Si aquestes organismes són externs caldrà preparar els contractes adients. Per fer aquest apartat cal realitzar un organigrama tècnic del projecte que consisteix en descompondre les tasques del projecte i establir una llista d'aquestes organitzades de manera jeràrquica o en un arbre. El treball es pot dividir en tants nivells com calgui de forma que cada nivell sigui fàcilment controlable i tingui un volum suficient per ser manejable administrativament.

Els passos bàsics per establir l'organigrama són:

- a) El nivell superior de l'arbre representatiu de l'organigrama és el nivell 0 i per a ell es pot escollir una frase que descrigui la missió que pretén el projecte. En l'arbre és la casella 0.0 que és on se situa l'arrel de l'arbre.
- b) La resta de tasques se subdivideixen en subsistemes que corresponen a la divisió en funcions més importants. A cada una se li assigna una frase breu que descrigui el subsistema. Tots aquests subsistemes donen lloc al nivell 1 que identificarem amb 1.0, 2.0, 3.0, etc. El conjunt de tota aquests subsistemes ha de permetre descriure completament el treball a realitzar en la casella 0.0.
- c) Cada un dels subsistemes del nivell 1 es dividirà en grups que descriguin completament el treball de cada subsistema. Cada un d'aquesta grups es designarà amb dos dígit, el primer dels quals correspondrà al sistema corresponent. Així el subsistema 3.0 es dividirà en els grups 3.1, 3.2, 3.3, etc.

## ASPECTES A TENIR EN COMPTE EN LA CONCEPCIÓ GENERAL

<b>Definició tècnica</b>	
Missió	Precisar-la, mantenir-la.
Objectius- subobjectius	Concretar-los, Establir la jerarquia, preservar-los.
Actuació regular	Funcionament normal detallat del sistema.
Actuació degradada	Funcionament detallat del sistema en cas d'incident o avaria.
Actuació inicial	Funcionament detallat del sistema durant la posada en marxa.
Prestacions	Resultats obtinguts en les diverses maneres de funcionament del sistema.
Descripció	Exhaustivitat en la descomposició del sistema en nivells y del projecte en activitats (Tècniques, organitzatives, administratives, etc.)
Tecnologies	Precisar les incògnites i el risc. Acceptació de canvis necessaris.
Qualitat-fiabilitat	Estudi conjunt i de detall. Especificacions.
Assaigs	Definició precisa de les proves parcials i de conjunt prèvies per a la donada d'alta del sistema
<b>Definició de mitjans</b>	
Financers	Costos, pressupostos, pla de finançament
Ma d'obra	Diferents tipus, equips de gestió i direcció del projecte, limitacions en especialitats poc freqüents
Materials	Previsió en la disponibilitat de mitjans, lloguer, construcció, compra.
<b>Definició de calendari</b>	
Exigències externes	Punts fixos obligats. Interfícies
Duració de l'activitat	Deterministes, aleatòries, optimistes
Restriccions	Potencials, acumulatives, incompatibilitats
<b>Organització del projecte</b>	
Organització	Estructura tipus projecte. Convèncer. Decidir
Plantilla	Disponibilitat de recursos humans necessaris per a la gestió del projecte.
Suport	Disponibilitat de recursos de suport del projecte
Contractes	Descomposició en unitats. Tipus de contracte
Sistemes d'informació	Circuits adaptats al projecte. Quadre de comandament
Relacions informació/decisió	Formalització de línies d'autoritat. Responsabilitats.

- d) Aquest procés de subdivisió es continuarà fins que qui ho gestiona consideri oportú.
- e) El següent pas és crear un diccionari de l'organigrama tècnic que consisteix en la definició oficial del treball a realitzar en el projecte. Així, per a cada casella de l'arbre s'escriu una descripció detallada i completa del que és pretén fer. El diccionari de l'organigrama tècnic ha de ser l'autoritat màxima dins del projecte pel que respecta al treball que s'ha de dur a terme.

Hi ha dos regles bàsiques perquè l'organigrama arbre sigui útil.

- 1) S'ha de subdividir les caselles tenint en compte les funcions i no fer les divisions tenint en compte l'estructura de l'empresa. Solament així aconseguirem que les interdependències entre els diversos departaments surtin a la llum.
- 2) No s'ha de dividir el contingut del projecte en massa nivells ja que aleshores la gestió no és efectiva. De quatre a sis nivells ja és un nombre acceptable.

### **1.1.3. Fase de construcció**

Un cop acabada la fase de concepció i després que la decisió de realització ha estat presa, el projecte passa a la fase de construcció. Aquí cal fer real allò que fins aleshores sols estava en el paper. Aquí cal controlar el procés seguint molt de prop les especificacions desenvolupades a la fase de concepció. Aquesta és una fase de gestió, seguiment i control.

En aquesta fase surten a la llum les llacunes i els errors comesos en les fases anteriors. Així és com apareixen sobre costos o els terminis s'allarguen més del previst.

### **1.1.4. Fase de posada en marxa**

Aquí el responsable del projecte ha de proporcionar el suport necessari per aconseguir els objectius. Aquí comença a necessitar-se un control de prestacions segons les línies preestablertes.

### **1.1.5. Fase de cessió**

En aquesta fase l'organització del projecte, que s'ocupava d'ell des de la fase de definició, l'abandona bé perquè aquest ha estat integrat en la estructura de la organització o bé perquè és un fracàs i cal cancel·lar-lo.

En aquest darrer cas és convenient fer una anàlisi dels projectes que no tiren per no cometre els mateixos errors en el futur. També és molt important avaluar els projectes que s'han acabat amb èxit. Tanmateix, aquesta anàlisi no sols dur-se a termini perquè als encarregats de fer el projecte ja se'ls ha encarregat de fer un altre.

### 1.1.6. Ordre i duració de les fases

La fase de definició ha de durar un màxim del 10 % del total de duració del projecte.

La fase de concepció general no ha de durar més d'un 20 %

La fase de concepció detallada pot durar un 30% i pot iniciar-se abans que la concepció general estigui conclosa.

La fase de construcció és la de major durada 60% i pot començar abans si les fases de concepció general i detallada han pogut dur-se a terme simultàniament.

Les fases de posada en marxa i cessió no ocupen més d'un 10% cada una.

És aconsellable no prescindir per complet de cap fase ja que aleshores pot passar que no es pugui controlar adequadament el projecte.

<b>Fases</b>	<b>% sobre el temps total</b>
fase de definició	10 %
fase de concepció general	20 %
fase de concepció detallada	30%
fase de construcció	60%
fases de posada en marxa i cessió	10%

### 1.1.7. Resum i activitat

#### Cicle de la vida d'un projecte industrial

Les fases del cicle de la vida d'un projecte són:

6. **Fase de definició:** És aquella en què la idea es concreta
7. **Fase de concepció:** És aquella que serveix per determinar les especificacions, els costos, el programa, les prestacions i les necessitats de recursos
8. **Fase de construcció:** És aquella en què cal fer real allò que fins aleshores sols estava en el paper.
9. **Fase de posada en marxa:** És aquella en què allò que s'ha construït es posa en funcionament.
10. **Fase de cessió.** És aquesta en què l'organització del projecte, que s'ocupava d'ell des de la fase de definició, l'abandona.

#### ACTIVITAT

1. El quadre següent detalla una sèrie d'activitats de diversos projectes. Es tracta d'identificar a quina fase correspon cada una de elles

Activitat	Fase
1. El consell d'administració d'una empresa de calderes ha acordat d'elaborar un nou model.	
2. La direcció tècnica d'una enginyeria està elaborant els plànols d'una vàlvula.	
3. En una empresa que construeix torres de refrigeració decideix cedir la construcció d'un nou model a una empresa auxiliar.	
4. Després de dissenyar un prototip de bescanviador, l'empresa ha decidit iniciar els treballs de construcció.	
5. Els compressors construïts per una empresa líder del sector es porten al Laboratori General d'Assaigs per provar que compleixen les característiques tècniques	
6. S'inicien els treballs preliminars per a la construcció d'un reactor nuclear	
7. Una enginyeria ha dissenyat per encàrrec una instal·lació de refrigeració d'un edifici d'oficines. Però, finalment, el constructor ha rebutjat el projecte perquè era massa car.	
8. Una empresa que fabrica equips de regulació automàtica estudia quins recursos materials necessitaria per dur a terme una nova línia de productes.	
9. S'elabora el pressupost d'un projecte d'instal·lació d'una cambra frigorífica a una carnisseria	

### Fase de definició

En aquesta fase s'analitza l'entorn, es preparen previsions, s'avaluen els objectius i alternatives i es realitza un primer examen del desenvolupament del projecte. Aquí també s'estableixen les bases de l'organització i les necessitats de recursos per a dur a terme més endavant el projecte.

La taxa de mortalitat dels projectes potencials durant la fase de definició és alta

En aquesta fase és necessari realitzar un **estudi d'objectius** i un **estudi de requeriments**.

**Estudi d'objectius:** És una etapa decisiva del projecte ja que en ella s'estableixen els objectius. Per això cal fer-se la pregunta: perquè ha de servir el projecte que ens han encarregat? i donar-hi una resposta.

L'estudi d'objectius ha de ser breu i econòmic i ha de plasmar de manera clara i coherent els desigs del client.

### ACTIVITAT

1. Elabora un breu índex que cregueis que hauria de tenir l'estudi d'objectius dels projectes següents.

Projecte	Índex de l'estudi d'objectius
1. Construcció d'un bescanviador	
2. Projecte d'instal·lació d'uns equips de refrigeració	
3. Projecte de construcció d'una cambra frigorífica	
4. Construcció d'una central nuclear	

**Estudi de requeriments:** És un informe que pretén donar resposta a la pregunta: Existeix la idea, però, es pot realitzar?. Per això cal elaborar un estudi on es tingui en compte, a més dels objectius ja definits en l'estudi d'objectius, les qüestions següents:

- a) Com ha de ser? Això vol dir fer un disseny previ.
- b) Quines alternatives hi ha? Això implica fer una comparació d'alternatives i seleccionar-ne la més interessant.
- c) Com es pot fer? Això vol dir veure quin tipus de tecnologies s'hauran d'utilitzar.
- d) Quan costarà? Caldrà doncs fer un estudi aproximat de costos.
- e) Serà rendible? Fer un estudi de rendibilitat.
- f) Que necessitem per poder-lo fer? Fer una anàlisi dels recursos humans, organitzatius, informàtics etc.
- g) Quan temps trigarà a fer-se? Fer el calendari previst.

### ACTIVITAT

2. Amb els projectes del quadre anterior elabora un índex relatiu a l'estudi de requeriments.

## Fase de concepció

La fase de concepció permet revisar i confirmar els plantejament que s'havien fet en la fase anterior. Caldrà doncs distingir entre la concepció general i la concepció detallada.

**Concepció general:** Es tracta de fer un estudi detallat de cada una de les solucions possibles que encara estiguin en consideració. S'haurà de redactar un document complet i coherent que inclogui les característiques tècniques principals, el calendari, les estimacions de costos (més precisos que en l'estudi de la fase anterior) els recursos necessaris i les recomanacions.

**Concepció detallada:** Consisteix en descompondre el projecte en subprojectes de manera que puguin ser assignats a aquelles persones o entitats que els han de realitzar. Si aquestes organismes són externs caldrà preparar els contractes adients.

## ACTIVITAT

1. Fes una llista d'activitats que caldria fer per a realitzar aquests projectes

Projecte	Índex de l'estudi d'objectius
1. Construcció d'un bescanviador	
2. Projecte d'instal·lació d'uns equips de refrigeració	
3. Projecte de construcció d'una cambra frigorífica	

**Organigrama tècnic** del projecte consisteix en descompondre les tasques del projecte i establir una llista d'aquestes organitzades de manera jeràrquica o en un arbre.

Els passos bàsics per establir l'organigrama són:

- f) El nivell superior de l'arbre representatiu de l'organigrama és el nivell 0 i per a ell es pot escollir una frase que descrigui la missió que pretén el projecte. En l'arbre és la casella 0.0 que és on se situa l'arrel de l'arbre.
- g) La resta de tasques se subdivideixen en subsistemes que corresponen a la divisió en funcions més importants. A cada una se li assigna una frase breu que descrigui el subsistema. Tots aquests subsistemes donen lloc al nivell 1 que identificarem amb 1.0, 2.0, 3.0, etc

## ACTIVITAT

3. Amb les llistes d'activitats elaborades en els projectes de l'exercici anterior estableix els respectius organigrames tècnics corresponents.



## 1.2. Principis de la gestió de projectes

La forma com s'estructuren les empreses i la seva organització no sol servir per a la realització de projectes. La reflexió sobre la manera de gestionar els projectes ve donada pels fracassos que han tingut lloc al llarg de la història de la humanitat. Tot i estar influïts pel passat, els principis que regeixen la gestió de projectes tenen, però, la seva base en l'estructura de la indústria aeroespacial i de la indústria de construcció en les quals els projectes són un factor fonamental.

La forma habitual d'estructura per a la realització d'un projecte és la constitució d'un grup o equip de treball. Aquests grups s'encarreguen d'orientar els recursos cap al projecte assignat. Aquest tipus d'organització i les seves relacions amb l'estructura de la empresa ha donat lloc a una nova forma organitzativa: l'organització matricial.

### 1.2.1. Estructura d'una empresa

La realització de projectes està relacionada amb la forma com està estructurada una empresa.

Les empreses s'organitzen en unitats de gestió o en centres funcionals relacionats uns amb als altres de manera que es compleixi:

- i. Que les activitats estiguin agrupades de manera coherent.
- ii. Que les activitats estiguin relacionades per un cert grau de dependència jeràrquica o de descentralització.
- iii. Que els treballadors se sentin motivats a dur a terme la seva activitat.

La organització de la empresa s'estructura en un organigrama que és un tipus de xarxa que recull les relacions entre les diferents unitats o centres que la componen.

Hi ha dos tipus de relacions i cinc tipus d'organigrames:

**Relacions:** són els lligams que s'estableixen entre els diferents centres funcionals o unitats de gestió. Poden ser lineals o de staff

- a) Relacions lineals: Són relacions de dependència jeràrquica que estableixen cadenes d'ordres entre superiors i subordinats. Poden ser directes o indirectes. Aquestes darreres tenen a veure amb la coordinació d'activitats.
- b) Relacions de staff: Són les relacions que serveixen per donar suport o per assessorar. No tenen autoritat però serveixen de consell .

### 1.2.2. Organigrames:

1. SIMPLES  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Model lineal o jeràrquic} \\ \text{Model funcional} \end{array} \right.$

2. COMPLEXOS	<i>Model mixt o linea - funcional</i>	
	<i>Model divisional</i>	<i>Divisió per productes</i>
		<i>Divisió per àrees</i>
		<i>Divisió per estructures mixtes</i>
	<i>Model matricial</i>	

### 1.2.2.1. Model lineal o jeràrquic

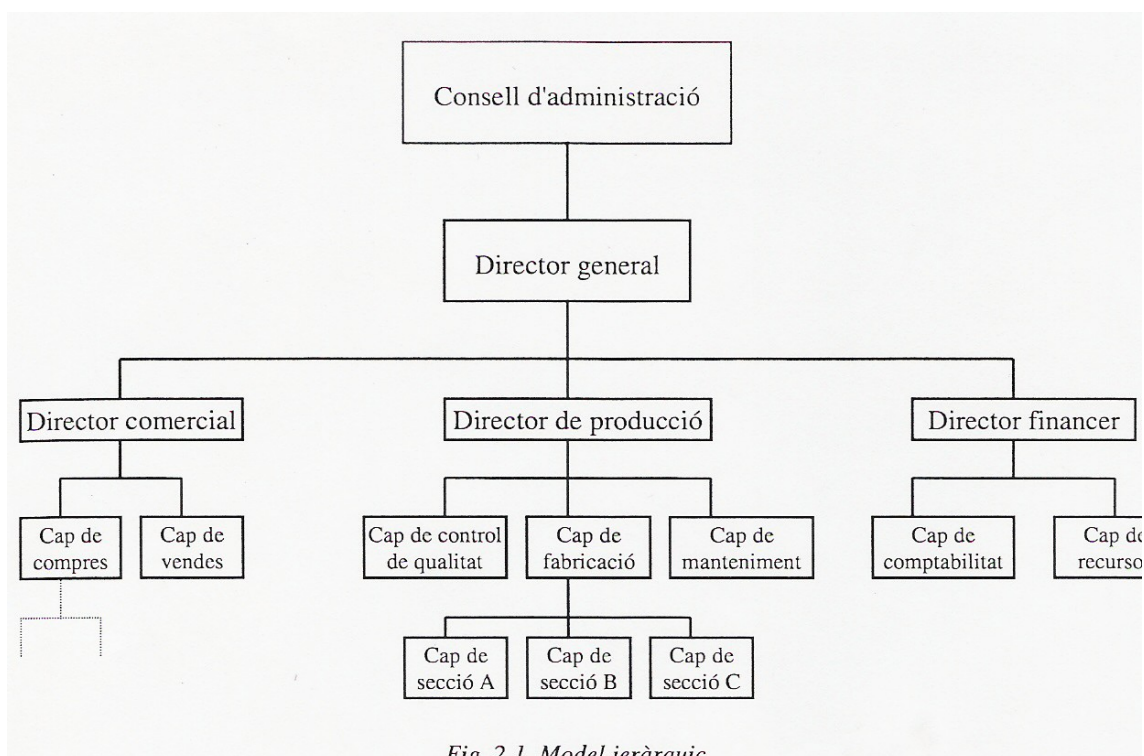
Es basa en el principi d'unitat de comandament segons el qual cada persona solament rep ordres del superior del qual depèn.

Avantatges:

- a) L'organització és fàcil d'entendre
- b) Hi ha disciplina en el treball
- c) La comunicació en sentit ascendent i les ordres en sentit descendent són directes.

Desavantatges:

- a) Els directius s'ocupen de tasques variades i mai arriben a poder especialitzar-se.
- b) Resulta difícil absorbir el creixement de l'empresa.



### 1.2.2.2. Model funcional

És la forma més extensa d'organització dins la indústria. Es caracteritza perquè les persones i els recursos que fan una funció similar s'integren en una mateixa entitat (direcció, divisió, departament, secció, etc.). En aquesta estructura el director general és l'encarregat de l'establiment dels objectius generals (volum de vendes, taxa de benefici,

taxa de creixement, etc.) Aquests objectius són els que després es tradueixen en mesures concretes a cada secció o departament. Així, doncs, el departament comercial ho tradueix a preus i quantitats, el de projectes, en el desenvolupament de nous dissenys i el de producció, en la fabricació de productes.

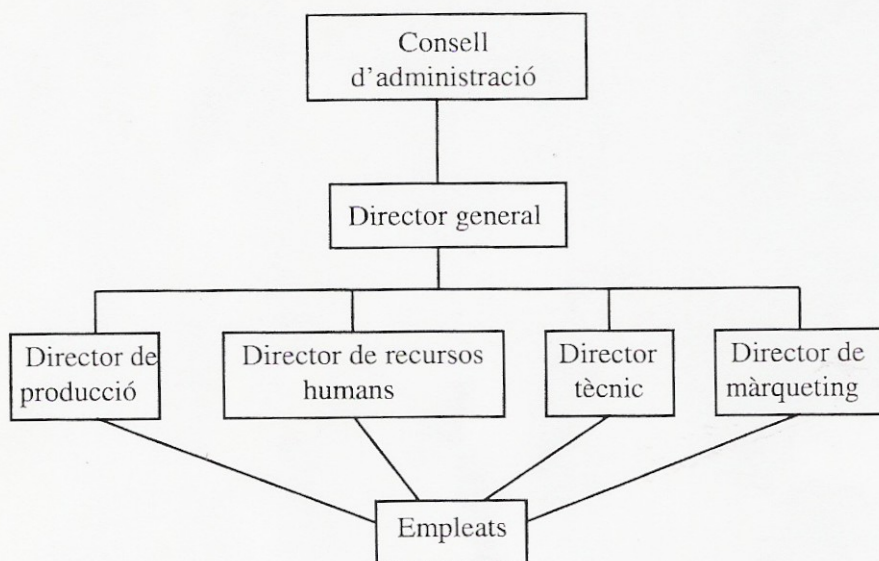
Aquesta organització s'empra habitualment quan es fan productes normalitzats i funciona molt be en situacions estables ja que no s'adapta fàcilment als canvis. Tanmateix, aquesta organització té una dificultat pel que respecta a les activitats no específiques o transversals: gestió de personal, compres de material, comptabilitat, etc. De vegades per solucionar això es crea un òrgan centralitzat sense autoritat jeràrquica però amb funcions de coordinació. Aquest òrgan es diu que té autoritat funcional.

Avantatges:

- a) Cada director treballa solament en cada especialitat
- b) Es pot absorbir el creixement de l'empresa ja que es pot assumir una major especialització.
- c) Les activitats de l'empresa es divideixen en funcions que són assignades a especialistes.

Desavantatges:

- a) Cada treballador té més d'un cap
- b) Hi ha menys disciplina.
- c) Hi ha conflictes de competències.
- d) L'especialització pot fer perdre de vista els problemes globals.



*Fig. 2.2 Model funcional*

### 1.2.2.3 Model mixt

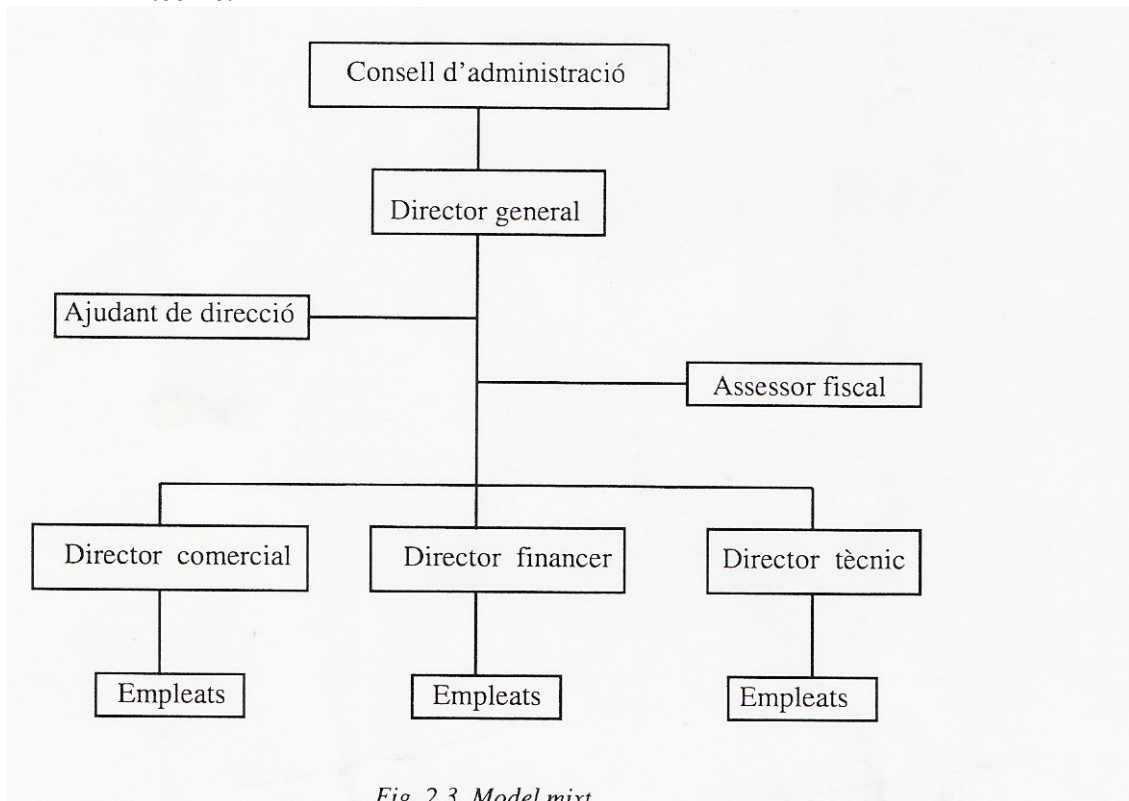
És un model que pren conceptes del model lineal i del model funcional. És un model jeràrquic però que es complementa amb la figura dels equips tècnics (staff) que fan funcions d'assessorament.

Avantatges

- a) Fa servir especialistes per l'assessorament
- b) Manté les relacions d'unitat de comandament.

Desavantatges:

- a) les decisions són més lentes a causa de les consultes amb l'equip tècnic
- b) La intervenció de l'equip tècnic pot introduir factors de confusió.
- c) Les despeses d'administració s'incrementen degut a l'existència de l'equip tècnic.



*Fig. 2.3 Model mixt*

#### 1.2.2.4 Model divisional

És un model que es fa servir per descentralitzar l'organització de l'empresa. Aquesta descentralització pot donar lloc a una divisió per productes, a una divisió per àrees geogràfiques i a una divisió per estructures.

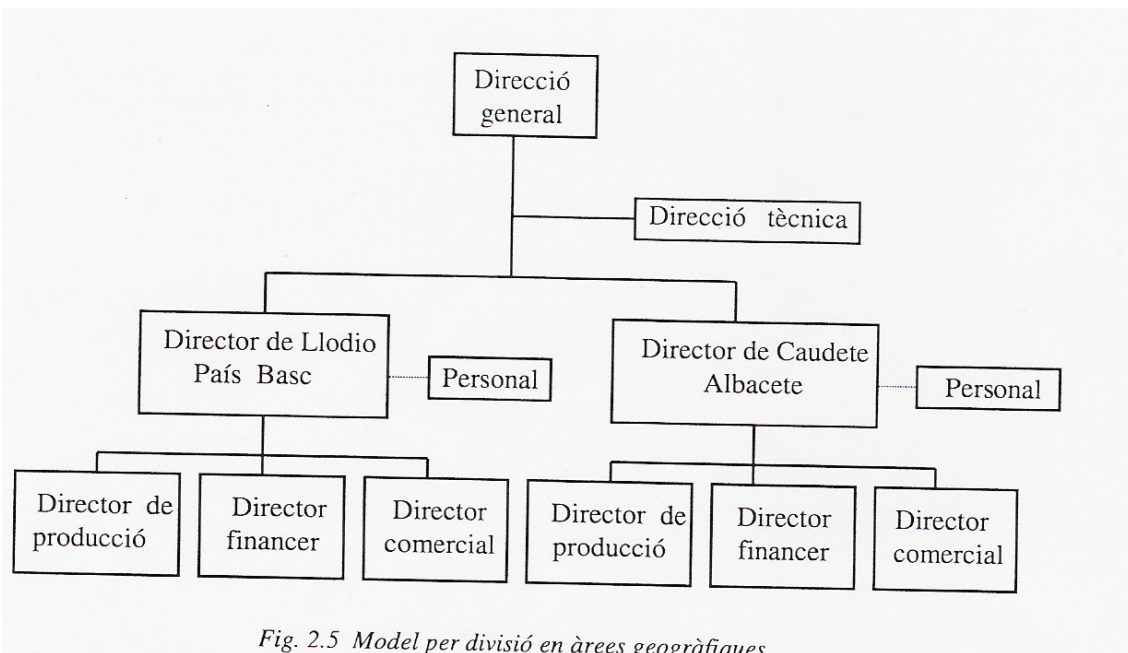
- 1) Divisió per productes.
- 2) Divisió per àrees geogràfiques.
- 3) Divisió per estructures mixtes.

##### 1.2.2.4.1 Model de divisió per productes

És un model en què l'empresa es descentralitza mitjançant l'especialització.

Avantatges:

- a) Les responsabilitats estan ben definides.
- b) La direcció té menys responsabilitat en les decisions.
- c) Es trien els productes per la seva rendibilitat. Els que no són rendibles s'eliminen.

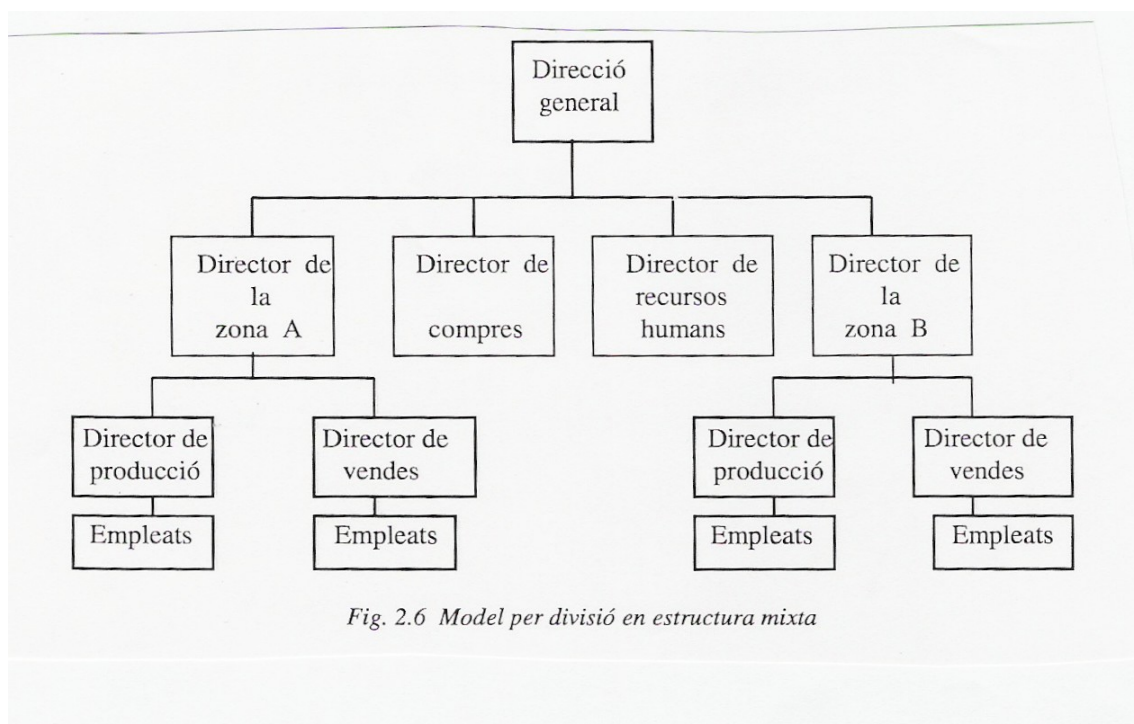


#### 1.2.2.4.2. Model de divisió per àrees geogràfiques

És el model que es fa servir per adaptar l'empresa a les necessitats d'una zona.

Avantatges

- a) Hi ha una adequació de l'empresa a la zona.
- b) S'aprofiten millor els recursos de la zona.
- c) Permet reaccionar més ràpidament a les exigències dels clients.





#### 1.2.2.4.3 Model de divisió per estructures mixtes

És un model mixt entre la divisió per productes i la divisió per àrees geogràfiques. Pot tenir uns departaments comuns i únics per a tota l'empresa (personal, compres, etc.) i en canvi divisió territorial per a la resta de l'estructura organitzativa.

#### 1.2.2.5 L'organització matricial

Ara bé, imaginem-nos que amb l'estructura funcional es plantegen dissenyar un nou producte que comporti tecnologia punta i signifiqui haver de ser crític amb l'empresa. Caldrà recursos no sols econòmics sinó també humans sense abandonar les activitats de producció actuals. El que sovint ha tingut èxit ha estat la constitució d'un projecte. Això significa nomenar un cap de projecte i crear una organització centrada al voltant del disseny i desenvolupament. L'estructura organitzativa és diferent de l'organització funcional. És una organització de tipus matricial.

La forma d'organització d'un equip de projecte sovint es superposa amb l'estructura vertical existent a l'empresa. La intersecció entre la estructura vertical i la del equip de disseny ha de conduir a un punt on hi hagi confluència entre els esforços de les especialitats i les del projecte. El cap de projecte és el que ha d'ocupar-se de fer coincidir els interessos existents.

El cap de projecte ha de ser un gestor ja que és el responsable de la planificació, organització, direcció i control dels recursos relatius al projecte.

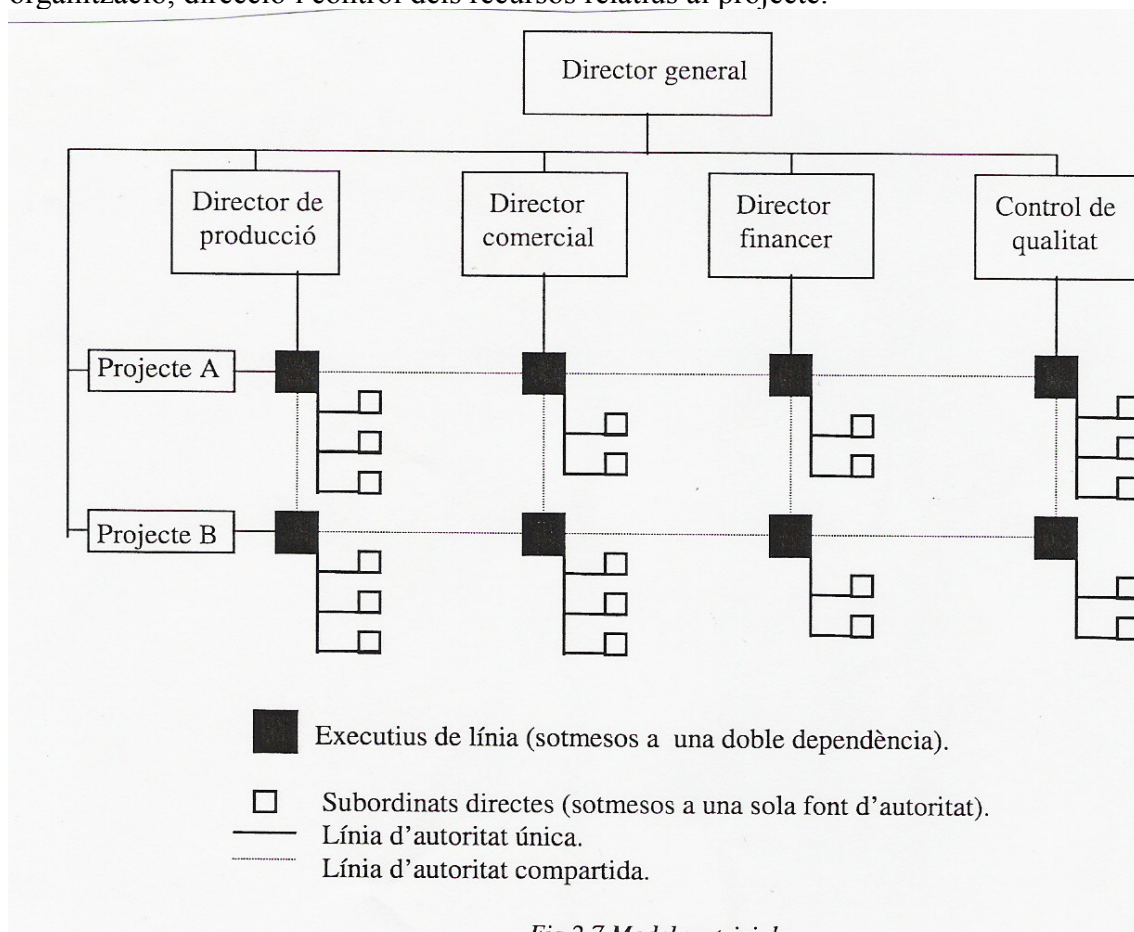


Fig.2.7 Model matricial

Una de les característiques de l'organització matricial és que cada persona té dos caps: el cap de projecte i el cap funcional. Això sembla trencar els esquemes tradicionals d'unitat de comandament que indiquen que sols s'han de rebre ordres d'un únic cap. A més els caps funcional i matricial comparteixen responsabilitats.

#### **1.2.2.5.1. Model matricial**

És la forma més utilitzada quan es vol combinar una organització funcional amb una organització que tingui en compte altres criteris com el producte, el projecte etc.

La matriu més utilitzada és la plana. Cada element té una doble dependència. Aquí hi ha executius en línia que estan sotmesos a una doble dependència i els subordinats que sols depenen d'un únic executiu. Hi ha línies d'autoritat única i línies d'autoritat compartida.

### **1.2.3. La influència de la estructura de gestió d'un projecte en l'obtenció de l'èxit**

En la gestió d'un projecte hi ha diversos factors que poden ser considerats com a èxit:

- a) Acompliment del calendari.
- b) Acompliment del pressupost
- c) Obtenció del resultat tècnic
- d) Totes aquestes coses a la vegada.

Per aconseguir l'èxit podem escollir una estructura organitzativa entre aquestes tres estructures:

- 1) Estructura funcional: Consisteix en no donar al projecte cap estructura especial deixant a l'estructura funcional de l'empresa la realització de les activitats corresponents. De manera senzilla diríem que només cal que cada un compleixi amb el seu deure.
- 2) Estructura equip de projecte. Consisteix en designar un grup de treball encarregat de desenvolupar el projecte i dotar-lo de tots els recursos necessaris per a dur-lo a terme sense recórrer a les línies funcionals.
- 3) Estructura matricial. Consisteix en crear un nucli d'equip responsable del projecte però sense tots els recursos. Aleshores serà necessari buscar-los quan calgui a l'estructura funcional de l'empresa. Ara bé segons el grau d'independència de l'equip l'estructura matricial pot ser de matriu funcional, de matriu equilibrada i de matriu de projecte, segons depengui molt, menys o molt poc de la línia funcional de l'empresa.

Ara bé, l'èxit d'un projecte no sols depèn de la seva estructura organitzativa, també depèn de la claredat dels objectius, de la complexitat del projecte, de l'adequació dels recursos etc.

Pel que fa a l'estructura tot sembla indicar que les millors organitzacions són les de matriu equilibrada ja que amb ella s'aconsegueix un major control de costos i la matriu projecte i l'equip de projecte ja que amb ells s'aconsegueix un major control de terminis.

De totes elles la millor organització sembla ser la matriu projecte llevat que el factor determinant sigui complir el termini. En aquest cas és millor escollir l'estructura d'equip de projecte.

### 1.3. Programació i control de projectes

En els apartats següents descriurem els procediments més importants de planificació i control de projectes basats en els grafs. Primer, però començarem fent una mica d'història d'aquests procediments.

#### 1.3.1. Història dels diagrames i grafs de programació de projectes.

La història d'aquestes eines cal situar-la en el segle XX. A principis del segle, l'enginyer Henry L. Gantt havia començat a introduir els seus mètodes d'organització a les empreses més importants dels EUA. Però, va ser entre 1914 i 1918 durant la Primera Guerra Mundial que el govern dels EUA li va encarregar a ell i al seu col·laborador Wallace Clark que apliquessin el seu diagrama per controlar alguns serveis de l'exercit. En acabar la guerra, el president Hoover va demanar a aquests enginyers que s'ocupessin, també, de l'organització d'algunes dependències de l'estat com l'Oficina de Patents. En la dècada dels anys 30, Clark va difondre el diagrama Gantt per tota Europa reorganitzant diverses empreses tant públiques com privades. Al 1935 va començar a introduir-se a Espanya aquest diagrama gràcies a la traducció al castellà del llibre de Clark que va fer l'enginyer Damià Aragonés en el qual s'explicava amb detall la tècnica del diagrama Gantt.

El diagrama Gantt va ser l'única eina utilitzada fins a finals dels cinquanta. Aleshores, l'Oficina de Projectes Especials de la Marina dels EUA en col·laboració amb la Lockheed (empresa fabricant de projectils) i la Booz Allen & Hamilton (enginyers consultors) decidiren de fer un nou mètode per solucionar el problema de planificació i control del projecte de construcció de submarins atòmics equipats amb projectils Polaris. Aquí calia coordinar i controlar durant cinc anys unes 250 empreses, 9000 subcontractistes i altres entitats governamentals. Així fou com va sorgir el PERT (*Programme Evaluation and Review Technique*, Avaluació de programes i revisió tècnica).

El mateix any 1958, l'equip de recerca de l'empresa Du Pont de Nemours dirigit per J.E. Kelley i M.R. Walker van crear una tècnica similar al PERT que anomenaren CPM (*Critical Path Method*, Mètode de camí crític). El mètode era similar al del PERT sols es diferenciava en la nomenclatura i en el fet que el CPM utilitzava duracions deterministes mentre que el PERT feia servir duracions probabilístiques.

En els mateix anys a Europa, un equip de tècnics de Chantiers de l'Atlantique, de la Société d'Economie et Mathématiques Appliquées i de la Compagnie des Machines Bull va crear el mètode de les potències que avui és conegut com graf ROY a propòsit d'un estudi per resoldre un problema d'equilibrat de corbes de càrrega que intervenen en les operacions d'armament d'un vaixell.

#### 1.3.2. Característiques dels mètodes de programació i control de projectes.

- 1) L'objectiu que pretenen aquests mètodes de programació és l'estudi i control de la realització del projecte.

Es tracta, doncs, de fer el programa de realització del projecte concebut com una activitat singular. En unes ocasions es tractarà de programar la construcció d'un objecte, o bé, de fer una intervenció temporal (revisió o manteniment). De vegades servirà per de realitzar un treball concret que estigui sotmès a uns



condicionants temporals (p. ex, disseny d'un producte o llançament comercial). En altres casos la programació servirà per utilitzar adequadament el temps disponible (distribució de locals i persones), o per gestionar correctament l'execució d'un bloc d'activitats (reparació i posada a punt de les màquines).

- 2) La realització del projecte es pot descompondre en l'execució d'un conjunt d'activitats o tasques.

Les activitats són operacions elementals i seran objecte de la programació. Per això cal ser molt fi en la descomposició del projecte. Aquesta descomposició requereix el coneixement de les tecnologies pròpies del projecte i algunes altres relatives a la planificació.

Les activitats poden variar des d'algunes desenes a diversos milers. El nombre de tasques dependrà de la duració, complexitat i grau de control del projecte.

A les activitats se'ls pot assignar unes característiques que es poden agrupar en tres categories:

- a) característiques d'identificació (codi, designació, tipus, executor, etc.)
- b) característiques temporals (duració, termini de realització, dates d'inici i final, dates reals, etc.)
- c) característiques de requeriments de recursos (mitjans materials, unitats físiques,

- 3) L'execució de la tasca està sotmesa a un conjunt de limitacions o "lligadures" que condicionen el valor de les seves característiques.

L'execució ha de realitzar-se d'una manera ordenada i complir unes restriccions o condicionants que anomenarem "lligadures" i que depenen de la tecnologia, de la ma d'obra, de l'equip (maquinàries), dels aprovisionaments, de les vendes, de la climatologia, etc..

### 1.3.3. Tipus de lligadures.

Es distingeixen tres tipus de lligadures, les potencials, les acumulatives i les disyuntives.

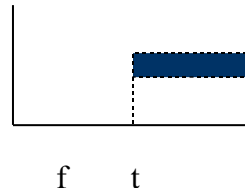
- a) Lligadures potencials

Es tracta dels condicionants que delimiten la posició del temps de les activitats. Responen a frases del tipus: "No poden començar a fabricar fins el 15 de maig" o "el producte ha d'estar llest abans del 1r de maig". "No es pot començar fins que acabi ..."

Són lligadures que marquen fites mínimes a la data per iniciar una activitat. Es poden dividir en:

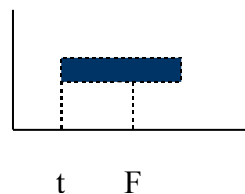
- 1) Lligadures de localització temporal mínima (No podem començar fins tal data...). Així, si  $f$  és la data a partir de la qual pot començar l'activitat  $i$ , i anomenem  $t_i$  a l'instant en què ha d'iniciar-se aquesta activitat aleshores la lligadura pot formular-se com

$$t_i \geq f$$



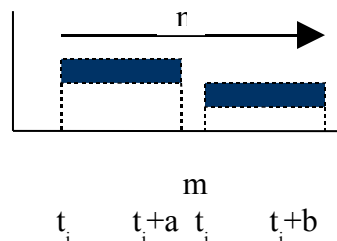
- 2) Lligadures de localització temporal màxima (Hem de començar l'activitat un temps abans de la data...). Així, si  $F$  és la data abans de la qual ha d'haver començat l'activitat  $j$ , i anomenem  $t_j$  a l'instant en que ha d'iniciar-se aquesta activitat aleshores la lligadura pot formular-se com:

$$t_j \leq F$$



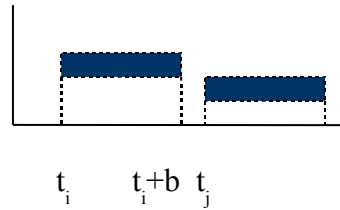
- 3) Lligadures de successió màxima (Entre l'acabament de l'activitat  $i$  i l'inici de l'activitat  $j$  ha de passar un temps  $m$ ). Així, anomenem  $a$  la durada de l'activitat  $i$  i  $b$  la durada de l'activitat  $j$ , designem per  $m$  el temps màxim que ha de transcórrer entre l'acabament de l'activitat  $i$  i l'inici de l'activitat  $j$ , i per  $n = a + m + b$  el temps entre l'inici d' $A$  i l'acabament de  $B$ . Aleshores la lligadura pot formular-se com:

$$t_j \leq t_i + n$$



- 4) Lligadures de successió mínima (No podem començar l'activitat  $i$  que s'hagi acabat l'activitat  $j$ ). Així si anomenem  $b$  al temps mínim que ha de transcórrer entre l'inici de l'activitat  $i$  i l'inici de l'activitat  $j$ , aleshores la lligadura pot formular-se com:

$$t_j \geq t_i + b$$



b) Lligadures acumulatives

Solen produir-se per les limitacions dels recursos disponibles, especialment, de ma d'obra. Aquestes lligadures es formulen establint que la suma dels recursos que es faran servir simultàniament no han de superar un cert valor que consisteix en la disponibilitat d'aquest recurs.

$$\sum g_{i,k}(\theta) = G_k(\theta)$$

On  $g_{i,k}(\theta)$  és la quantitat utilitzada del recurs  $k$  per l'activitat  $i$  en l'instant  $\theta$ , mentre que  $G_k(\theta)$  és la quantitat disponible de recurs  $k$  en el mateix instant.

Donen lloc a problemes de compatibilitat de recursos. Fan referència a l'ús de recursos al llarg del temps de manera que no se superi en cap moment la disponibilitat.

També donen lloc a l'equilibrament de recursos que consisteix en fer que el consum dels diversos recursos encaixi en tot moment tant com sigui possible amb la disponibilitat.

c) Lligadures disjuntives

Solen estar associades als equipaments i a les instal·lacions. Fan referència al fet que una màquina solament pot estar dedicada a una determinada activitat. Direm que entre dues activitats hi ha una lligadura disjuntiva si les dues no poden realitzar-se simultàniament. Tot i que les lligadures disjuntives són similars a les acumulatives, les primeres són més rígides que les segones degut al seu origen. Es a dir, els problemes de manca de ma d'obra es poden resoldre amb hores extraordinàries, amb la contractació d'obers eventuais etc., mentre que la manca de disponibilitat d'una determinada màquina és més difícil d'evitar.

Les lligadures disjuntives es formular amb una disjunció: A o B, entre dues lligadures potencials. Així si  $t_i$  i  $t_j$  són els instants d'inici i  $d_i$  i  $d_j$  la duració de les activitats  $i$  i  $j$ , aleshores

$$t_j \geq t_i + d_i \quad \text{o} \quad t_i \geq t_j + d_j$$

Donada la dificultat de formulació de les lligadures acumulatives i de les lligadures disjuntives, habitualment se sol prescindir d'elles i es redueix el problema a les lligadures potencials. Així, es prescindeix de les lligadores acumulatives fent una assignació prèvia de recursos a cada una de les activitats. Així, queda definida la seva duració. Les lligadures disjuntives s'obvien escollint un ordre de les activitats de manera que es transformen en lligadures potencials.

### 1.3.4. Resum i activitats

**Un graf:** és un conjunt de relacions que es representen mitjançant fletxes. Utilitza dos conjunts. El primer el designarem per  $V$  i l'anomenarem conjunt de vèrtexs  $V$  i es representarà mitjançant punts i l'altre el designarem per  $R$  i representarà les relacions que hi ha entre els elements del conjunt  $V$

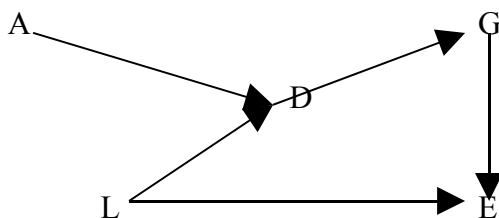
Exercici

1. Representa mitjançant un graf la relació  $R$ : *és més gran que* en el conjunt  $C = \{-12, 3, 0, 5, 8\}$
2. Representa per mitjà d'un graf la relació  $R$ : *ser a la dreta de* de les persones del quadre  
LLUIS, MARIA, ENRIC, ROGER, JOANA I TOMÀS

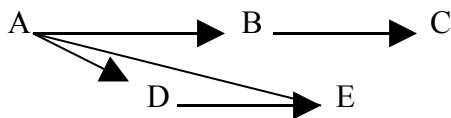
**Matriu associada a un graf:** Un graf es pot representar mitjançant una matriu de manera que cada fila representa el vèrtex d'origen i cada columna representa el vèrtex del destí. Si la relació comença en  $A$  i acaba en  $B$ , a la cruïlla de la fila  $A$  columna  $B$  hi posarem un 1 o un altre valor que representi la magnitud de la relació.

Exercicis:

3. El graf de la figura representa les relacions d'amistat d'un grup d'amics. Escribe la matriu associada a aquest graf.



4. Representa la matriu associada als grafs dels exercicis 1 i 2
5. La figura mostra una xarxa local de comunicacions instal·lada entre quatre ordinadors d'una oficina. Escribe la matriu associada a aquest graf.



6. La matriu associada a un graf corresponent a una xarxa de carreteres

que uneix 4 ciutats és: 
$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$
. Dibuixa el graf corresponent.

## HISTÒRIA DELS DIAGRAMES I GRAFS DE PROGRAMACIÓ DE PROJECTES

- Principis del segle XX, Henry L. GANTT va introduir nous mètodes d'organització en algunes empreses dels EUA.
- 1914-1918, durant la I Guerra Mundial, el govern americà va encarregar a Henry L. GANTT i al seu col·laborador Wallace Clark que apliquessin els seus mètodes per controlar alguns serveis de l'exercit.
- Després de la guerra, el president HOOVER els hi va encarregar l'organització de l'Oficina de Patents.
- A la dècada dels 1930, Clark va difondre el diagrama Gantt per Europa.
- Al 1935 el diagrama Gantt es va introduir a Espanya i fou l'única eina disponible fins la dècada dels 50.
- Al 1958, l'Oficina de Projectes Especials de la Marina dels EUA en col·laboració amb l'empresa Lockheed, que fabricava projectils, i l'empresa Booz Allen & Hamilton, que eren enginyers consultors, van començar a treballar en un nou mètode de planificació per aplicar-lo al projecte de construcció de submarins nuclears equipats amb projectils Polaris.
- El resultat va ser el mètode PERT (*Programme Evaluation and Review Technique*) d'avaluació de programes i revisió de tècniques.
- Al 1958, l'empresa americana *Du Pont de Nemours*, que col·laborava amb l'Atomic Energy Commisión en la producció d'urani enriquit, va posar en marxa un nou mètode de planificació de projectes: el CPM (*Critical Path Method*) o mètode del camí crític. Avui aquest dos mètodes se solen complementar i s'ensenyen com un de sol.
- Per la mateixa època a Europa les empreses Chantiers de l'Atlantique, la Société d'Économie et Mathématique Appliquées i la Compagnie des Machines Bull van crear el mètode de les potències, conegut avui per mètode ROY.

## CARACTERÍSTIQUES DELS MÈTODES DE PROGRAMACIÓ I CONTROL DE PROJECTES

- a. L'objectiu és l'estudi i control de la realització d'un projecte.
- b. La realització d'un projecte es descompon en un conjunt d'activitats.
- c. Cada una d'aquestes activitats està sotmesa a unes limitacions que s'anomenen **lligadures**.

Exercicis:

1. Tenim un projecte que consisteix en fer un plat seguint una recepta de cuina. Elabora una primera llista d'activitats que hauràs de dur a terme fins a obtenir l'objectiu final.
2. La llista següent són diversos tipus de projectes que poden ser analitzats a través dels mètodes de programació i control:

1	Disseny d'un nou model de radiocassette
2	Distribució de les aules d'un IES
3	Manteniment i revisió de la calefacció d'un edifici de 5 plantes
4	Llançament comercial d'un nou gelat

Escriu una llista d'activitats que creus que s'ha de dur a terme en cada un d'aquest projectes.

**Activitats:** són operacions elementals en que es pot descompondre el projecte.

A les activitats se'ls assigna tres tipus de característiques:

- a) característiques d'identificació (codi, designació etc.)
- b) característiques temporals (duració i dades inicials i finals)
- c) característiques de recursos (materials i humans)

Exercicis:

3. En l'exercici 1 completa la taula següent relativa a les activitats:

codi	designació	activitats precedents	durada	data inicial	data final	recursos

4. Utilitzant una llista d'activitats de les que has elaborat en l'exercici 2 fes una taula d'activitats seguint l'esquema següent.

<b>codi</b>	<b>designació</b>	<b>activitats precedents</b>	<b>durada</b>	<b>data inicial</b>	<b>data final</b>	<b>recursos</b>

5. Establir el programa de les activitats corresponents a la realització de la recepta de cuina següent:

#### **Estofat de vedella a l'empordanesa**

Ingredients: jarret de vedella 1 ½ kg, llard 300g, cebes, tomàquets madurs 6, vi ranci 2 copes, anís sec 1 copa, pèsols 600g, vi blanc ½ l, alls 4 grans, safrà, carquinyolis 3, pinyons 20 g, ametlles 15 g, patates 1,200 g, un manat d'herbes, sal.

Elaboració: Talleu el jarret en trossos d'uns 40 g. Piqueu la ceba molt fina i ratlleu el tomàquet, Ajunteu tot això amb el manat d'herbes, el pebre, el vi ranci i el vi blanc, i ho deixeu macerar a la nevera durant un parell de dies.

Poseu una cassola a foc viu amb el llard i tireu-hi la carn, les cebes, les herbes i el tomàquet, tot ben escorregut del suc de la maceració. Tapeu-ho bé i després d'uns 20 minuts hi afegiu aquest suc de macerar, o sigui, el vi blanc i el vi ranci. Quan hagi reduït a la meitat, afegiu-hi aigua fins quasi cobrir.

Deixeu-hi fer la xup-xup, i quan sigui a mig coure, hi tireu els pèsols i les patates pelades, netes i tallades a trossos mitjans.

Feu una picada amb el safrà, els alls, els pinyons, les ametlles i els carquinyolis; deixateu-la amb l'anís i afegiu a la cassola en l'últim moment. Al cap d'uns minuts, proveu-ho de sal i serviu.

- a) En primer lloc heu d'establir la relació d'activitats en què es considera dividit aquest projecte. La llista d'activitats que s'adopti depèn del detall amb que es desitgi fer la programació. Tot seguit haureu de fer una estimació dels temps de cada activitat.

## TIPUS DE LLIGADURES

**Lligadures:** Són el conjunt de limitacions a que està sotmesa l'execució de les activitats d'un projecte.

Les lligadures poden ser :

- **de tipus tecnològic:** una activitat no pot començar fins que no hagi acabat una altra.
- **de ma d'obra:** la plantilla no pot assumir totes les activitats simultàniament.
- **d'equipament:** Les màquines de que es disposen són limitades i no poden fer simultàniament dos activitats.
- **d'aprovisionament:** No es pot començar una activitat fins que no arribin els materials que es precisen.
- **de vendes:** Algunes activitats s'han de realitzar abans d'una data perquè sinó hi ha penalitzacions.
- **de climatologia:** El fred, la calor o la pluja limiten determinades activitats.

ACTIVITAT: Digués de quin tipus són les lligadures del quadre.

activitat	lligadura
En una empresa de construcció hi ha hagut una setmana de pluges intenses que ha obligat a aturar les obres.	
Ens hem compromès a tenir instal·lada la calefacció d'un edifici abans de la primera quinzena del mes vinent.	
Hem hagut d'aturar la fabricació d'un prototip de calefactor perquè la planxes d'alumini s'han endarrerit tres setmanes.	
En un taller mecànic només hi ha una fresadora.	
En una empresa d'instal·lacions sols hi ha tres equips de 2 treballadors.	

### Tipus de lligadures

**a) Lligadures potencials:** Són les que delimiten el començament i l'acabament de l'activitat en el temps. Poden ser:

- **Localització temporal mínima:** "No es pot començar una activitat fins a una data determinada".
- **Localització temporal màxima:** "L'activitat ha d'acabar-se abans d'una data determinada".
- **Successió mínima:** "L'activitat A no pot començar fins que acabi l'activitat B"
- **Successió màxima:** "Entre l'acabament de l'activitat A i l'inici de la B han de passar unes hores determinades"

**Lligadures acumulatives:** Són produïdes per les limitacions dels recursos humans disponibles. La suma de recursos necessaris no pot superar els recursos disponibles.

**Lligadures disjuntives:** Són produïdes per les limitacions d'equipament. Si solament hi ha una màquina i s'han de fer dues activitats. Entre aquestes activitats hi haurà una lligadura disjuntiva.



### 1.3.5. El diagrama Gantt

**El diagrama Gantt** fou creat per Henry Gantt el 1918 i consisteix en unes representacions gràfiques de les variables que intervenen en tot el procés de fabricació. El diagrama pot ser:

- de càrrega d'operari,
- de càrrega de màquines,
- de comandes i
- de coordinació de procés de treball.

Exercici:

1.Desenvolupa el diagrama Gantt per a la càrrega dels tres treballadors d'una empresa durant la setmana del 14 al 20 d'octubre de 2007:

Lluís: Ha treballat el dilluns 8h, el dimarts 4h i es va absentar per la tarda, el dimecres 6h i va estar aturat 2h per material defectuós, dijous 8h i divendres 4h ja que es van haver de reparar les màquines.

Miquel: Ha treballat el dilluns 8h, el dimarts i el dimecres 6h i no va poder continuar per instrucció insuficient, dijous 8h i divendres 6h i es va absentar per malaltia.

Pere: Ha treballat el dilluns 6h, després van reparar les màquines, el dimarts 4h i es va absentar per la tarda, el dimecres 8h, dijous 6h i es va absentar i divendres 8h.

Operari	Setmana:																							
	Dilluns				Dimarts				Dimecres				Dijous				Divendres				Dissabte			

#### Nomenclatura habitual

**A:** absència de l'operari

**B:** falta de preparació

**I:** instrucció insuficient

**L:** lentitud excessiva en el treball

**M:** material defectuós

**R:** reparacions

**T:** eines inapropiades

**V:** vacances i festes

2. Desenvolupa un diagrama GANTT per a una càrrega de màquina en el cas següent:

- El producte A: 20 hores de trepant, 12 de torn, 20 de rectificadora i 20 de fresadora.
- El producte B: 20 hores de torn, 16 de fresadora, 20 de trepant i 12 de rectificadora.
- El producte C: 20 hores de fresadora, 12 de rectificadora, 24 de torn i 16 de trepant.
- El producte D: 16 hores de rectificadora, 16 de trepant, 12 de fresadora i 16 de torn.

Les màquines funcionen de dilluns a divendres, ambdós dies inclosos en tornos de 8 hores cadascun. L'ordre de la seqüència de les operacions és el de l'enunciat i a cada operació es fan totes les peces que conformen cada producte.

Màquines	Setmana																			
	Dilluns				Dimarts				Dimecres				Dijous				Divendres			

3. Elaboreu el diagrama GANTT de màquines-temps per a una producció de tres productes A, B i C. La càrrega de la màquina 1 és de 12 hores de producte A, 14 de producte B i 6 de producte C. La màquina 2 té 13 hores preestablertes per al producte A, 11 per al producte B i 3 per al producte C. La màquina 3 té 10 hores assignades per al producte A, 12 per al producte B i 14 per al producte C. Les seqüències de fabricació són reversibles per a cada màquina, és a dir, no afecten l'ordre en la utilització de cada una de les tres màquines dins de cada producte, però si que una vegada iniciada la producció en una màquina no es pot passar a la següent sense haver acabat totes les peces. La jornada laboral és de 8 hores.

4. En el quadre següent hem recollit les activitats que calen fer per a instal·lar un sistema centralitzat de climatització.

Instal·lació de climatització			
codi	Descripció	Duració dies	Activitat precedent immediata
A	Estudis previs	30	-
B	Disseny de la instal·lació	15	A
C	Preparació magatzem	3	A
D	Perforar els envans	7	B
E	Col·locar evaporadors	10	B
F	Instal·lar canonades	20	E
G	Instal·lar conductes	12	E
H	Instal·lar difusors i reixetes	3	G
I	Col·locar planta refredadora	1	F
J	Connectar la planta a la xarxa	2	I
K	Neteja de les zones d'instal·lació	3	J
L	Realitzar proves	2	K
M	Posar en marxa	1	L

Dibuixa en diagrama Gantt i determina el nombre de dies en que pots realitzar aquest treball.

5. El quadre següents descriu les activitats necessàries per a dur a terme els treballs preliminars de construcció d'una nau. Dibuixa el diagrama Gantt de coordinació del treball.

Preparació d'obra			
codi	Descripció	Duració dies	Activitat precedent immediata
a	Netejar l'emplaçament	3	-
b	Mesura i replanteig	2	a
c	Moviment de terres	2	b
d	Preparació escomesa elèctrica	6	c
e	Excavació conduccions elèctriques	1	c
f	Excavació desaigües	10	c
g	Fonaments	4	c
h	Perforació del pou	15	c
i	Instal·lació conduccions elèctriques	5	e
j	Instal·lació canonades desaigües	5	f
k	Construcció dipòsit aigua	10	g
l	Instal·lació bomba	2	h
m	Instal·lació estació transformadora	3	i, j
n	Instal·lació canonades i vàlvula dipòsit	10	k
p	Instal·lació conduccions subterrànies	8	l
q	Connexió a la xarxa	5	d, m
r	Connexió de canonades	2	n, p

6. La fabricació i envasatge d'un licor que destinem a atendre la demanda durant la festa de Sant Jordi d'una determinada població. Es tracta d'un producte singular que després d'obtenir el lot necessari es deixarà de produir.

Les lligadures especial d'aquest producte són:

- L'activitat *i* no pot començar abans de transcorreguts dos dies a partir del començament del projecte (degut als terminis de lliurament dels ingredients del licor)
- L'activitat *l* pot coincidir parcialment amb la *k* només cal que hi hagi el 40% dels envasos plens i tancats (2 dies de treball) per poder disposar d'un volum suficient d'envasos als que se'ls pot enganxar l'etiqueta.

Fes un diagrama Gantt

Projecte de fabricació i envasament d'un licor			
Codi	Descripció	Duració	Activitat precedents
a	Estudis previs	3	-
b	Disseny de l'envàs	4	a
c	Disseny de l'etiqueta	5	b
d	Elecció de l'impresió	2	a
e	Disseny del sistema de tancament	1	b
f	Fabricació de l'envàs	20	b
g	Impressió de l'etiqueta	20	c, d
h	Fabricació del sistema de tancament	4	e
i	Fabricació del líquid	25	-(2)
j	Esterilització dels envasos	2	f
k	Ompliment i tancament	5	h, i, j
l	Enganxament de l'etiqueta	4	g, k (2)

### 1.3.6. El mètode PERT

El mètode PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) va posar-se en marxa el 1958 per la Marina dels EUA per a realitzar els projectes de submarins atòmics equipats amb projectils Polaris.

Consisteix a dividir el projecte en activitats

Es fan servir dos elements:

- El nus: representa l'inici o la fi d'una activitat
- La fletxa o xarxa: serveix per representar l'activitat

Per poder establir el graf PERT cal saber no solament les activitats implicades sinó el seu ordre de prioritats.

#### ACTIVITAT

1. El quadre següent ens proporciona les activitats necessàries per a fer un projecte i l'ordre de prioritats que cal seguir. Dibuixa un graf PERT

Activitat	Activitat precedent
A	
B	A
C	A
D	B
E	D, C
F	E

2.- El quadre següent ens proporciona les activitats necessàries per a fer un projecte i l'ordre de prioritats que cal seguir. Dibuixa un graf PERT

Activitat	Activitat precedent
A	
B	A
C	A
D	A
E	B
F	D
G	E, C
H	F
I	G, H

3.- S'ha de fer una línia telefònica al llarg d'una carretera. Per fer-la cal fer tres tipus d'activitats: a) fer els forats a terra, b) aixecar els pals, c) i fer l'estesa del cable. S'ha decidit dividir la carretera en dos sectors. Es disposa de tres equips de treballadors per fer cada una d'aquestes activitats. El quadre següent ens dona la relació de les activitats i la seva prioritats

Activitat	Descripció	Activitat precedent immediata
F1	Foradar en el sector 1	
F2	Foradar en el sector 2	F1,
P1	Posar pals al sector 1	F1
P2	Posar pals al sector 2	F2, P1
E1	Estesa del sector 1	P1
E2	Estesa del sector 2	P2, E1

Dibuixa el gràfic PERT.

## CONDICIONS QUE HA DE CUMPLIR UN GRAF

1. El graf sols tindrà un inici i un final
2. Tota activitat tindrà una precedent i una següent
3. No podran existir dues activitats que tenint el mateix nus inicial tinguin el mateix nus final

Aquestes regles obliguen a fer servir en alguns casos les anomenades activitats virtuals

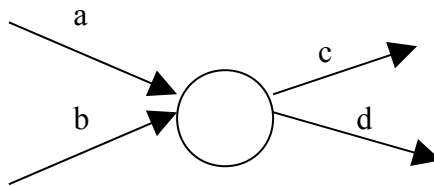
### 1.3.7. Activitats virtuals

Les activitats virtuals són arcs que uneixen dues etapes d'un graf PERT i que no representen cap operació, tasca o treball real. Tanmateix, és necessari introduir-les per a respectar algunes lligadures potencials del projecte que no es poden representar d'una altra forma. Són activitats de duració zero i les representarem amb línies de punts. Hi ha altres activitats virtuals que no tenen duració nul·la i que cal fer servir en el graf.

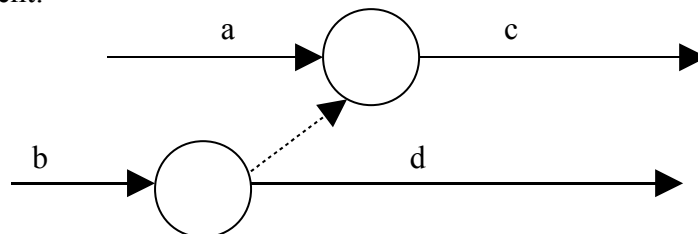
Ho veurem amb aquests dos exemples:

- a) L'activitat *c* no pot començar fins que les activitats *a* i *b* hagin acabat.
- b) L'activitat *d* pot començar quan hagi acabat solament la *b*.

La figura següent no és correcta ja que condicionem el principi de *d* a que *a* i *b* hagin acabat.



Per això es preferible introduir una activitat virtual com es veu en el gràfic següent:



### ACTIVITAT

1. En l'exercici anterior hi necessitat de recórrer a alguna activitat virtual?
2. Un exemple d'activitat virtual pot ser el següent:
  - a) Una activitat *g* pot començar quan hagi acabat l'activitat *e*.
  - b) L'activitat *h* pot començar quan hagi acabat *f* i s'hagi realitzat la meitat de l'activitat *e* (això vol dir que l'inici de *h* pot ser anterior que el final de *e*).Per poder representar això amb un diagrama PERT cal dividir l'activitat *e* en dues parts *e*<sub>1</sub> i *e*<sub>2</sub> i unir l'etapa intermèdia amb l'inici de *h* a través d'una activitat virtual.  
Fes la representació amb un graf.

3. Els casos següents són exemples d'activitats virtuals. Fes en cada cas el graf corresponent.

- a) A precedeix a B i D, C precedeix a D.
- b) A i B precedeixen a D; B i C precedeixen a E
- c) A precedeix a B i C; B i C precedeixen a D

### 1.3.8. Dates màximes i mínimes

Una de les finalitats del PERT és calcular les dates màximes i mínimes d'execució. Per això és convenient per a cada activitat saber:

Temps de durada de l'activitat.  $T(i,f)$

Data màxima per començar  $D_i$

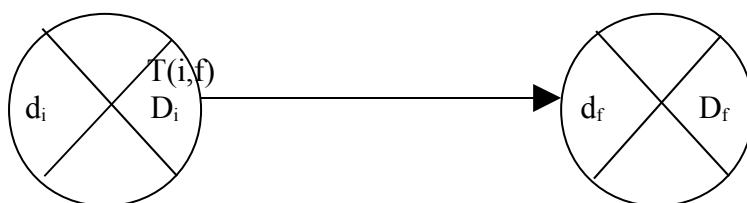
Data mínima per començar  $d_i$

Data màxima per acabar  $D_f$

Data mínima per acabar  $d_f$

Aquestes dades es relacionen entre si segons les fórmules:

$d_f = d_i + T(i,f)$  La data mínima per acabar una activitat és la data mínima per començar més la durada de l'activitat.



$$D_i = D_f - T(i,f)$$

La data màxima per començar una activitat és la data màxima per acabar-la menys la durada de l'activitat

### ACTIVITAT

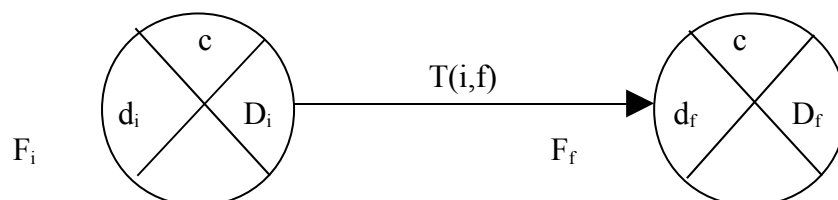
1. El quadre següent ens proporciona les activitats necessàries per a fer un projecte i l'ordre de prioritats que cal seguir. Dibuixa un graf PERT i calcula les dates màximes i mínimes suposant que comencem a partir de zero.

Activitat	Activitat precedent immediata	Durada de l'activitat (dies)
A		3
B	A	5
C	A	10
D	B	4
E	D, C	12

F	E	3
---	---	---

### 1.3.9. Folgança i camí crític

Folgança o marge de cada succés és la diferència entre les dates màximes i mínimes. La folgança s'escriu en cada nus en el requadre de sota



En el quadre que queda lliure se sol posar un codi indicatiu del vèrtex que indiqui l'ordre dels successos.

Quan una activitat té folgança zero és diu que és una activitat crítica. El camí format per totes aquelles activitats crítiques s'anomena camí crític

2. Volem fer un projecte que té una successió d'activitats com la que descriu el quadre següent:

Activitat	Precedents	Duració (mesos)
A	D, E	2
B	C	1
C	F	4
D	G, K	5
E	L	6
F	H	8
G	I	7
H	J	3
I	-	9
J	-	11
K	L	0
L	M, N	1
M	O	6
N	P	7
O	-	2
P	-	8

a) Fes un quadre de seqüències que és un quadre de doble entrada amb totes les activitats a ordenades i totes a absisses (també s'anomena matriu associada al graf). En ell s'ha de posar un 1 a la cruïlla on l'activitat de cada fila està precedida per les activitats de cada columna i a la resta zeros.

b) Fes el diagrama PERT.

c) Determina les dates màximes i mínimes i les folgances.

d) Assenyala quin seria el camí crític.

3.- Un projecte consta de les activitats que apareixen a la taula següent acompanyades de les activitats precedents i de la duració.

Activitat	Precedents	Duració (mesos)
A	-	2
B	-	4



C	A	3
D	A	1
E	B, C	2
F	D	1
G	E, F	1
H	F, E	2
I	G	2
J	H	1
K	J	2
L	J	2
M	K	3
N	I	2

a) Fes un quadre de seqüències que és un quadre de doble entrada amb totes les activitats a ordenades i totes a abscisses (també s'anomena matriu associada al graf). En ell s'ha de posar un 1 a la cruïlla on l'activitat de cada fila està precedida per les activitats de cada columna i a la resta zeros.

e) Fes el diagrama PERT.

f) Determina les dates màximes i mínimes i les folgances.

g) Assenyala quin seria el camí crític.

4.- Donada la successió lògica següent, dibuixeu-ne el graf i trobeu el camí crític pel mètode PERT

Activitat	Precedents	Duració (mesos)
A	E	3
B	C	5
C	D, F	10
D	E	7
E	G, H	8
F	G, H	1
G	I, L	3
H	J	11
I	J	0
J	-	6
K	-	7
L	K	9

5. Aquestes dues taules corresponen a dos projectes que ja has analitzat amb el diagrama GANTT. Ara et proposem que els analitzis amb el graf PERT.

Preparació d'obra			
codi	Descripció	Duració dies	Activitat precedent immediata
a	Netejar l'emplaçament	3	-
b	Mesura i replanteig	2	a
c	Moviment de terres	2	b
d	Preparació escomesa elèctrica	6	c
e	Excavació conduccions elèctriques	1	c
f	Excavació desguassos	10	c
g	Fonaments	4	c
h	Perforació del pou	15	c
i	Instal·lació conduccions elèctriques	5	e
j	Instal·lació canonades desguassos	5	f

k	Construcció dipòsit aigua	10	g
l	Instal·lació bomba	2	h
m	Instal·lació estació transformadora	3	i, j
n	Instal·lació canonades i vàlvula dipòsit	10	k
p	Instal·lació conduccions subterrànies	8	l
q	Connexió a la xarxa	5	d, m
r	Connexió de canonades	2	n, p

Projecte de fabricació i envasament d'un licor			
Codi	Descripció	Duració	Activitat precedents
a	Estudis previs	3	-
b	Disseny de l'envàs	4	a
c	Disseny de l'etiqueta	5	b
d	Elecció de l'impremta	2	a
e	Disseny del sistema de tancament	1	b
f	Fabricació de l'envàs	20	b
g	Impressió de l'etiqueta	20	c, d
h	Fabricació del sistema de tancament	4	e
i	Fabricació del líquid	25	-(2)
j	Esterilització dels envasos	2	f
k	Ompliment i tancament	5	h, i, j
l	Enganxament de l'etiqueta	4	g, k (2)

- Fes un quadre de seqüències o matriu associada al graf.
- Fes el diagrama PERT.
- Determina les dates màximes i mínimes i les folgances.
- Assenyala quin seria el camí crític.

6. De vegades les activitats no les tenim ordenades per ordre de realització sinó que solament sabem la seva durada i l'activitat immediatament anterior. Aquest és el cas en el següent exemple:

Activitat	Durada (dies)	Activitat immediata anterior
G	3	C
P	2	R, D
F	3	-
H	3	F
E	4	P, H
A	2	R, D
C	2	B
R	4	B
B	4	-
D	2	F

En aquest cas s'aconsella ordenar la taula abans de començar a treballar per poder realitzar el graf PERT més fàcilment.

A continuació, dibuixa el diagrama PERT i calcula les dates màximes i mínimes, les folgances i el camí crític.

7. Aplica l'enunciat de l'exercici anterior a la relació d'activitat del quadre següent:

Activitat	Durada (dies)	Activitat immediata anterior
A	3	E
B	4	K
N	3	G
H	2	R, A, M
D	2	J
E	2	-
M	4	C
G	4	-
F	3	L
K	2	C
C	3	-
L	5	G
R	2	J
J	2	E

A continuació, dibuixa el diagrama PERT i calcula les dates màximes i mínimes, les folgances i el camí crític.

### 1.3.10. Determinació dels recursos

Tota tasca a realitzar requereix d'uns recursos humans. El PERT es pot utilitzar per a millorar els recursos existents en períodes de plena producció.

Fases:

1. Afegir en el PERT, al costat de cada activitat els recursos necessaris per a realitzar-la.
2. Analitzar la xarxa hora per hora o dia per dia .
3. Adaptar la xarxa a les exigències fixats per l'empresa.

ACTIVITAT. La taula següent correspon al PERT que has realitzat en l'exercici 6

Activitat	Durada (dies)	Activitat immediata anterior	Recursos
G	3	C	1
P	2	R, D	1
F	3	-	2
H	3	F	3
E	4	P, H	2
A	2	R, D	1
C	2	B	2
R	4	B	2
B	4	-	1
D	2	F	2

- a) Primera fase: A sobre de cada activitat del graf PERT situa la dada dels recursos necessària.
- b) Segona fase: Anàlisi de la xarxa. Aquí cal tenir en compte les exigències de l'empresa. En aquest cas són 2:
  - 1) És obligatori respectar el camí crític.
  - 2) El nivell de recursos no ha de superar els 5 treballadors per dia

Amb aquestes dades cal omplir el quadre següent:

dies activ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
B	1	1	1	1										
R					2	2	2	2						
P														
E														
F														
H														
D														
C														
A														
G														
total														

Observis que primer hem col·locat les activitats corresponents al camí crític i després les altres per ordre cronològic. Dins de cada casella es posa el nombre de treballadors que calen cada dia per realitzar l'activitat.

- c) Tercera fase. Un cop realitzada la fase aleshores construirem un altre gràfic que contingui en ordenades en nombre de treballadors i en absisses els dies de treball

dies recursos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
8														
7														
6														
5														
4														
3														
2														
1														

El quadre de la fase tercera ens indicarà en quins dies se supera la condició de 5 treballadors imposada per l'empresa i quines tasques que no estiguin en camí crític es poden moure per solucionar aquesta situació.

Proposa una solució alternativa.

2. Analitza la distribució dels recursos en el exemple recollit en la taula següent de la qual ja has dibuixar el graf PERT en l'exercici 7.

Activitat	Durada (dies)	Activitat immediata anterior	Recursos
A	3	E	2
B	4	K	1
N	3	G	4
H	2	R, A, M	2
D	2	J	3
E	2	-	3
M	4	C	3
G	4	-	1
F	3	L	4
K	2	C	4
C	3	-	1
L	5	G	1
R	2	J	2
J	2	E	2

- a) En aquest cas :

- És obligatori respectar el camí crític.
- El nivell de recursos no ha de superar els 9 treballadors per dia

Proposa una solució alternativa.

### EXERCICIS

1. Elabora un diagrama PERT per a les activitats del projecte que són resumides a la taula següent:

Activitat	Activitat precedent	Durada (dies)	Recursos (Núm. operaris)
A	-	2	2
B	-	3	3
C	A	2	1
D	A	6	4
E	B,C	1	3
F	B,C	4	2
G	D,E	1	5
H	F	2	1

- a) Primer construeix la xarxa i calcula les durades màxima i mínima de cada activitat, les folgances i el camí crític.
  - b) Respectant la durada total i el camí crític, distribueix els operaris de manera que mai hi hagi més de 5 persones ocupades en el projecte. Quines modificacions caldria fer?
2. Elabora un diagrama PERT per a les activitats del projecte que són resumides a la taula següent:

Activitat	Activitat precedent	Durada (dies)	Recursos (Núm. operaris)
A	-	3	2
B	-	4	4
C	-	5	3
D	A,B	5	3
E	C	4	5
F	B,C	3	2
G	C	3	3
H	D,E,F	4	2
I	G,H	5	2

- a) Primer construeix la xarxa i calcula les durades màxima i mínima de cada activitat, les folgances i el camí crític.
- b) Respectant la durada total i el camí crític, distribueix els operaris de manera que mai hi hagi més de 10 persones ocupades en el projecte. Quines modificacions caldria fer?
- c) Creus que es pot reduir encara més el nombre d'operaris?

## **Crèdit 5: PROCESSOS I GESTIÓ DE MUNTATGE D'INSTAL·LACIONS**

8. Mètodes de treball.....	43
Millorar el treball	
Definicions i símbols	
El full de procés	
Diagrama d'operacions de procés	
Diagrama d'anàlisi de procés	
Diagrama de circulació	
Activitats simultànies i micromoviments.	
Diagrama de moviments de mans	
9. Distribució en planta.....	63
Càlcul de la superfície total.	
Classes de distribució en planta.	
Elecció de la distribució en planta més adequada.	
El mètode dels hexàgons	
10. Mesura del temps de treball .....	71
Importància de la mesura del temps	
Procediments per a mesurar el temps	
Mètodes d'observació directa	
Sistema de normes de temps predeterminats	
Mesura del temps per cronometratge	
El nombre d'observacions necessàries	
Els suplements de descans	

## 2. MÈTODES DE TREBALL

**Mètode de treball:** és la manera com es realitza un treball. Aquesta és una qüestió important ja que té una repercussió directa en el que costa produir un objecte.

**2.1 Millorar el mètode:** és un procediment que intenta aconseguir una major eficiència. Consta de sis fases:

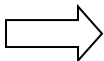
- 1) Seleccionar el treball que es vol millorar
- 2) Enregistrar el mètode segons una tècnica
  - Full de procés
  - Diagrama d'operacions de procés o cursograma sinòptic
  - Diagrama d'anàlisi de procés o cursograma analític
  - Diagrama de circulació
  - Diagrama d'activitats simultànies
  - Diagrama de moviment de mans, bimanual o simograma
- 3) Examinar el mètode actual i proposar-hi millores
- 4) Desenvolupar un nou mètode i comparar-lo respecte a l'anterior
- 5) Aplicar el nou mètode i preparar adequadament el personal
- 6) Controlar l'aplicació del nou mètode per detectar possibles modificacions.

### 2.2 Definició i símbols

Les activitats que intervenen en un procés de treball poden ser de cinc tipus. Cada activitat es representa per un símbol



1. OPERACIÓ: Consisteix a modificar, muntar, desmuntar, preparar, fer càlculs, fer un plantejament, donar ordres, etc.



2 TRANSPORT: Es fa quan es mou un objecte de lloc excepte quan el moviment forma part de la operació.



3. INSPECCIÓ: Examinar un objecte per a identificar-lo o quan es verifica la seva qualitat.



4. DEMORA: Es produeix quan no es pot executar immediatament l'acció següent.



5. EMMAGATZEMATGE. Consisteix a guardar o protegir un objecte de tal manera que es pugui retirar sense autorització prèvia.

Les activitats d'operacions, transport i inspecció són dinàmiques mentre que és de demora i emmagatzematge són estàtiques.



### 2.3 FULL DE PROCÉS

És el full que es fa servir per recollir les dades de les fases i del temps en què es pot descompondre un treball. En aquest full ha de figurar les dades de l'empresa com departament, operació etc. A més, si és possible ha de figurar un croquis de la disposició dels elements que intervenen en la operació.

#### ACTIVITAT

En un taller hi ha un treball que consisteix a agafar 20 femelles i 4 barres roscades. L'operari talla la barra rosca en 10 espàrrecs i enrosca una femella a cada espàrrec. A continuació emmagatzema els espàrrecs amb femella amb paquets de 10. Amb aquestes dades omplirem les columnes relatives a unitats i descripció del full de procés següent.

Full de procés				
Empresa:		Operació:		Full
Departament:		Operari:		Data
Unitats	Distància	Temps	Descripció	Observacions

A continuació passarem a omplir les dades de la columna de distància. Per això mesurarem les distàncies entre els diferents lloc on ha d'anar l'operari des de la seva taula de treball. Així, veiem que el dipòsit de femelles està a 5 m de la taula, el dipòsit de barres a 2m i el magatzem d'espàrrecs a 4 m. Perquè quedi clara la disposició dels diferents llocs dibuixarem un petit croquis al final del full de procés

Finalment per acabar d'omplir la taula cronometrarem el temps que dedica l'operari a fer cada activitat en segons. De vegades, però se sol utilitzar com a unitat de mesura la deumil·lèsima d'hora. Així doncs un segon correspon a 2,77 deumil·lèsimes d'hora

$$1^{\circ} = \frac{1 \text{ hora}}{10.000}$$

El temps mesurat és el següent: Agafar 20 femelles 14 s; agafar 4 barres roscades 5 s; tallar els 10 espàrrecs 20 s; cargolar un espàrrec amb una femella, 7s i finalment guardar els 10 espàrrecs 10s.

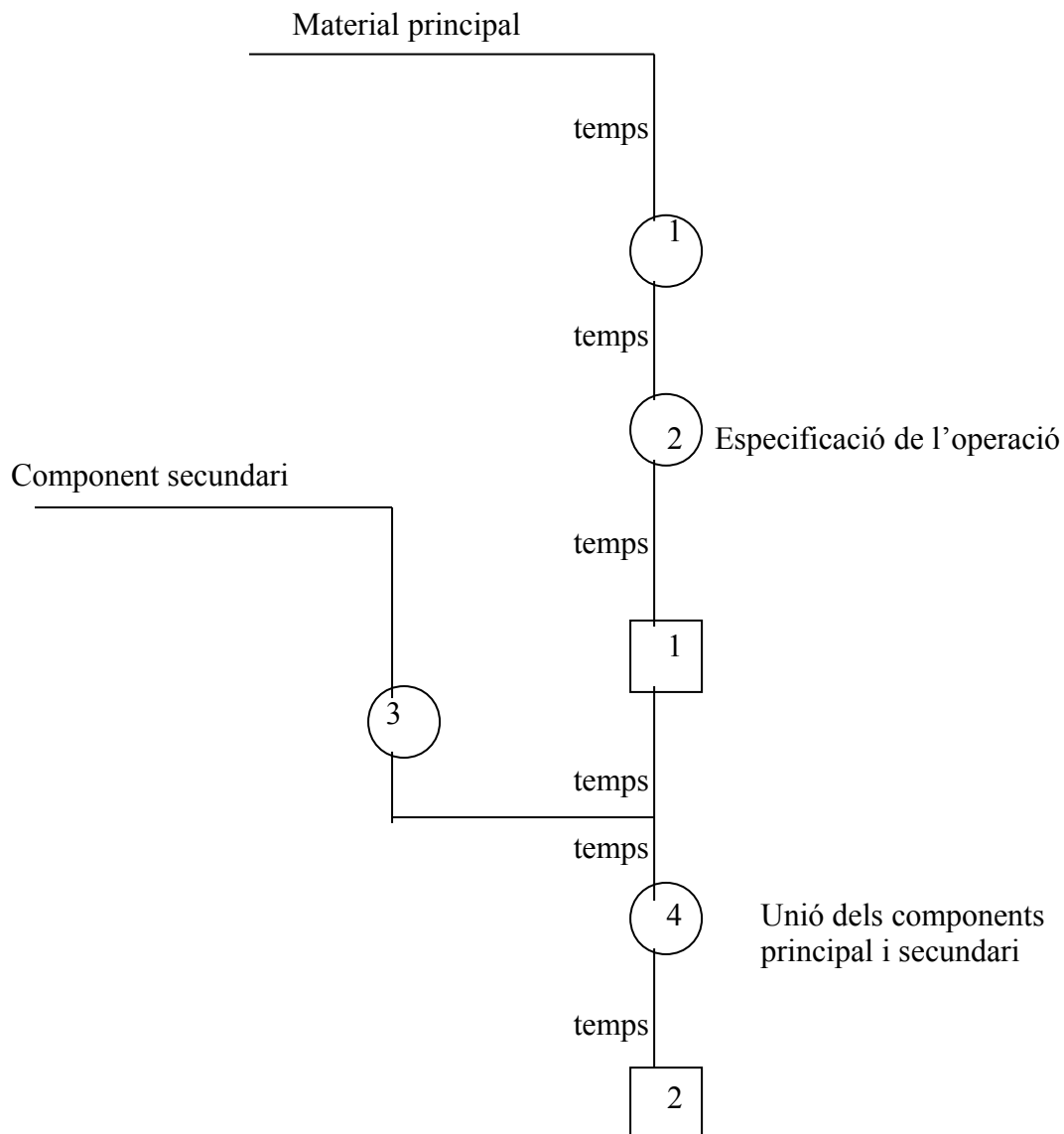
## 2.4 DIAGRAMA D'OPERACIONS DE PROCES

És un diagrama que serveix per indicar com tenen lloc les operacions. Així doncs, dóna una idea de com és el treball que es vol realitzar.

El dibuix es fa de la manera següent:

- traça una línia horitzontal i posa-hi el nom del material principal.
- baixa la línia verticalment i posa els processos que segueix aquest material ordenats cronològicament.
- Representa cada procés amb el símbol corresponent. A la dreta posa-hi l'explicació i a l'esquerra el temps i la distància.
- Numera les activitats cronològicament amb numeració independent per a cada tipus d'activitat.

Exemple:



ACTIVITAT

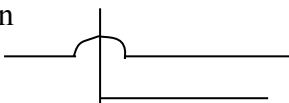
1. Fes un diagrama del procés d'una carretera d'accés a una fàbrica

“ Un cop elaborat el projecte, es procedeix al replantejament de la carretera, és a dir, al traçat sobre el terreny de la seva situació i de les cotes. En aquesta operació s'inverteixen 6,5 hores. A continuació es procedeix a l'extracció del terreny per tot el camí. Es tarden 3 dies de 8 hores diàries. Després es consolida el terreny fins que adquireix la consistència suficient. Això es fa en 0,6 hores per la meitat de la carretera. Un cop consolidat el terreny, s'estén una capa de formigó a una velocitat d'1 m cada 0,5 hores. Transcorreguts 4 dies des que es va finalitzar l'enduriment del formigó, es comença a asfaltar la carretera a un ritme de 5m cada 2 hores. Es considera que cal un període de 20 dies fins que el formigó s'hagi adormit i es pugui permetre el pas. El formigó s'obté mesclant àrid, aigua i ciment a una velocitat de 2 m<sup>3</sup> cada 0,8 hores. La preparació de l'asfalt abans d'estendre'l sobre el formigó requereix 1,7 hores per a cada 5m de carretera”.

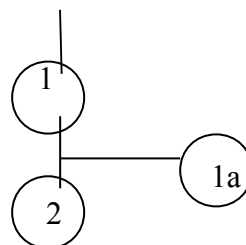
2. Fes un diagrama de procés de les operacions que tenen lloc en una fàbrica de galetes. Les activitats són les següent: preparació de la pasta; divisió de la pasta, cocció de la pasta; obertura de la caixa de cartró i introducció de separadors (aquestes dues operacions es fan al mateix temps que la cocció); col·locació de les galetes a les caixes; tancament de les caixes i embalatge. Cal col·locar una inspecció durant el procés i també la inspecció final, signada per l'operari que introdueix l'etiqueta de garantia a la caixa.

### Representacions convencionals

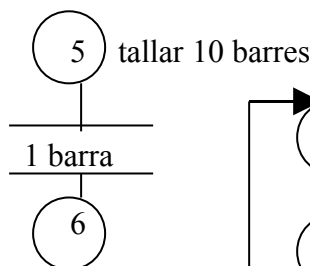
Per indicar que dues línies es creuen



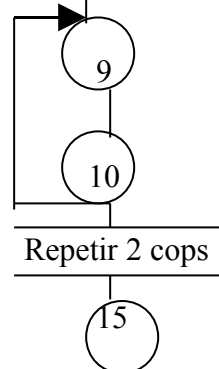
Si un cop fet el diagrama ens hem oblidat una operació



Per indicar canvi en les unitats de referència



Per indicar repeticions. Atenció amb la numeració



3. En la fabricació d'una peça se segueixen les operacions següents: Primer es desbasta, després se cilindra i finalment es talla. Les durades respectives d'aquestes operacions són 15, 20 i 7 minuts respectivament. Després d'aquestes tres operacions la peça es trasllada a la fresadora i a la polidora. Però a mig camí del transport se li fa una prova de verificació del diàmetre. La durada del transport des de la talladora fins la unitat de verificació és de 20 minuts mentre que des d'aquí a la fresadora triga 30 minuts. Les operacions de fresar i polir duren 12 i 6 minuts respectivament. A continuació la peça es transportada fins al trepant. El trasllat dura 15 minuts i l'operació 17. Aquesta és la darrera operació a que està sotmesa la peça. A partir d'aquí torna a ser enviada a la unitat de verificació i a continuació s'emmagatzema. Aquests darrers transports duren respectivament 10 i 15 minuts. Dibuixa el diagrama de procés.

4. Per a muntar un carretó manual s'han de seguir una sèrie de processos que es recullen en el quadre següent:

	Operacions	t	Transport	t	Inspecció	t	Emmagatzematge	t
Muntar el carretó	Muntar el bastidor	15'		20'				
	Muntar els agafadors	12'						
	Muntar els suports	19'						
	Muntar rodes en carretó	12'	Cap a rodaments	18'	Assaig	30'		
	Muntar eixos	15'	Cap a assaig					
	Muntar frens	22'	Cap a assaig	18'	Assaig	17'		
Construir els eixos	Tornejar	20'	Cap a verificació	18'	Verificació	17'		
	Rectificar	15'						
Muntar les rodes	Muntar components rodes	12'	Cap a assaig	18'	Assaig	30'		
Construir suports	Construir suports	1d	Trasllat	30'				
Pintar	Pintar i assecar	2 d	Cap a pintar	25'			Magatzem	
			Cap a magatzem	32'				

El procés principal és el del muntatge del carretó i els processos següents es realitzen en uns altres taller i quan estan acabats s'incorporen en el procés principal a excepció de la pintura que es deixa pel final i conclou el procés principal abans de portar la peça al magatzem. Amb aquestes consideracions representa el diagrama de procés de tot el conjunt.

## 2.5. DIAGRAMA D'ANÀLISIS DE PROCÉS

Una de les diferències d'aquest diagrama és que en ell es poden trobar qualsevol dels cinc símbols de les activitats fonamentals.

ACTIVITAT:

1. Amb les dades que disposes del full de procés inicial omple les dades en el diagrama d'anàlisi següent:
























































Diagrama d'anàlisi de procés									
Empresa			Operació			Estudi núm.		Full	
Departament			Operari		Mèto de	Analista		Data	
Símbols		M	temps					Unitat	Descripció
			OP	TR	INS	DE	EM		
○ → □ D ▽									Agafar 20 femelles
○ → □ D ▽									Agafar 4 barres roscades
○ → □ D ▽									Tallar 4 barres (40 espàrrecs)
○ → □ D ▽									Enroscar 10 femelles.
○ → □ D ▽									Portar 10 espàrrecs
○ → □ D ▽									Enroscar 10 femelles.
○ → □ D ▽									Portar 10 espàrrecs
○ → □ D ▽									Agafar 20 femelles
○ → □ D ▽									Enroscar 10 femelles.
○ → □ D ▽									Portar 10 espàrrecs
○ → □ D ▽									Enroscar 10 femelles.
○ → □ D ▽									Portar 10 espàrrecs
○ → □ D ▽									

2. Utilitzant l'esquema anterior i amb les dades de l'exercici 3 fes un diagrama d'anàlisi de procés.

3. El full de procés del trossejat i recalcat de les aletes d'una turbina ens proporciona la informació següent:

Descripció	Temps
Agafar un paquet de 10 barres de la prestatgeria del taller i portar-lo a la taula de la cisalla	5'
Tallar lligadures.	4'
Agafar un altre paquet de 10 barres i portar-lo a la cisalla	5'
Tallar lligadures	4'
Asseure's a la trossejadora	5'
Trossejar les 20 barres i tallar les cantonades	12'
Portar el lot trossejat a la premsa de recalcar	6'
Recalcament i col·locació en el calaix	25'

Amb aquestes dades omple el diagrama d'anàlisi de procés. La disposició del taller és la següent: La premsa de recalcar al mig separada a 4m de les prestatgeries que hi són a la dreta. A l'esquerra de la premsa a 2,5 m de distància hi ha una taula amb la trossejadora i la cisalla

Diagrama d'anàlisi de procés									
Empresa			Operació			Estudi núm.		Full	
Departament			Operari		Mètode	Analista		Data	
Símbols		M	temps					Unitat	Descripció
									
									
									
									
									
									
									
									
									
									
									



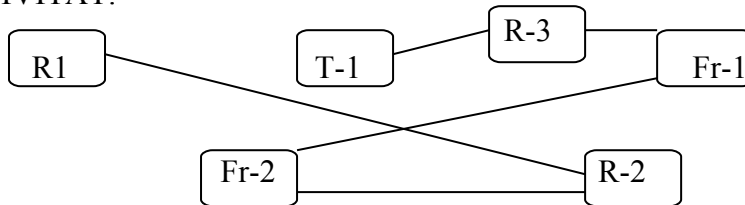




## 2.6 DIAGRAMA DE CIRCULACIÓ

Els diagrames de circulació fan referència al desplaçament de material o al desplaçament d'un operari. Amb aquests diagrames és fàcil veure el recorregut que ha de fer el material o l'operari i detectar si hi ha pèrdues de temps en desplaçaments.

ACTIVITAT:



El gràfic representa la disposició d'un taller mecànic on hi ha tres rectificadores, un torn i dues fresadores. A la vista del gràfic se t'acut alguna distribució de les màquines que fos més eficient.

EXERCICI:

Fes un full de procés, un diagrama d'operacions de procés i un altre d'anàlisi de procés en el treball que consisteix a soldar una carcassa amb un rotor, embalar-la i emmagatzemar-la. La seqüència d'activitats és la següent.

- L'operari porta en un sol viatge 4 embalatges des del magatzem fins a la taula de soldar. El recorregut és de 3m. Durada 8".
- L'operari porta en un sol viatge, 4 carcasses des del magatzem fins a la taula de soldar. El recorregut és de 2m. Durada 9".
- L'operari porta en un sol viatge 2 rotors des del seu magatzem fins a la taula de soldar. El recorregut és de 1,5 m. Durada 10".
- L'operari agafa una carcassa i un rotor i els solda sobre la taula. Durada 23".
- Quan l'operari ha soldat el conjunt, el fica a l'embalatge i el deixa en un dipòsit temporal. Durada 5,4".
- Quan l'operari ha acabat 4 conjunts els porta de dos en dos des del dipòsit temporal al magatzem de productes embalats. El recorregut és de 2m. Durada 60".

Completa l'estudi amb un diagrama de circulació utilitzant la nomenclatura següent:

- Operari
- Magatzem d'embalatges
- Magatzem de carcasses
- Magatzem de rotors
- Magatzem de productes embalats
- Màquina de soldar
- Dipòsit temporal



## 2.7. ACTIVITATS SIMULTÀNIES I MICROMOVIMENTS

Els diagrames que hem estudiat fins ara serveixen per estudiar el treball d'un operari o les activitats d'un procés. Tanmateix, no són aplicables a aquelles activitats on hi ha involucrats al mateix temps operaris i màquines. En aquest cas s'aconsella utilitzar els diagrames d'activitats simultànies.

### Diagrames d'activitats simultànies:

- a) Diagrama home-màquina
- b) Diagrama equip-màquina
- c) Diagrama home diverses màquines.

### Diagrama home-màquina

Aquest diagrama es fa servir per enregistrar el temps que un operari i el temps de la màquina que té al seu càrrec.

El temps es mesura sobre la columna central i està dividit en deu mil·lèsimes d'hora ( $1^{\circ} = 1 \text{ hora} / 10.000$ ) de manera que cada ratlla petita representa  $20^{\circ}$  deu mil·lèsimes mentre que les ratlles grans en representen  $100^{\circ}$

Diagrama d'activitats simultànies home-màquina				
Empresa	Operació		Estudi núm.	Full
Departament	Operari	Mètode	Analista	Data
Home		Màquina		
Preparar la màquina			Màquina parada	
Temps aturat			Mecanització	
Treure la peça			Màquina parada	
Verificar			Màquina parada	

## ACTIVITAT

1. Dibuixa un diagrama home-màquina corresponent a l'activitat d'un operari que treballa amb una fresadora. La seva activitat consisteix a portar i subjectar la peça (300<sup>oo</sup>) a continuació posa en marxa la fresadora i realitza el fresatge (500<sup>oo</sup>) i finalment treu la peça (100<sup>oo</sup>). Cal tenir present que tant en la primera activitat com a la tercera la fresadora resta aturada.

Diagrama d'activitats simultànies home-màquina				
Empresa	Operació		Estudi núm.	Full
Departament	Operari	Mètode	Analista	Data
Home		Màquina		

**Temps d'element manual quan la màquina està aturada:**  $C_1$  és el temps que l'operari treballa i la màquina està aturada.

**Temps d'element manual quan la màquina està en marxa:**  $C_2$  és el temps que l'operari treballa i la màquina està en funcionament.

**Temps manual total**  $C' = C_1 + C_2$

**Temps de funcionament de la màquina:**  $T_m$  és el temps en què la màquina està en funcionament.

**Temps total del cicle**  $C = C' + T_m$

Amb aquestes definicions omple la taula següent relativa al diagrama home-màquina que acabes de dibuixar.

Temps	quantitats
$C_1$	
$C_2$	
$C'$	
$T_m$	
$C$	

**Saturació de l'operari** es defineix com la relació entre el temps manual total i el temps total del cicle

$$S_o = \frac{C'}{C} \times 100$$

**Saturació de la màquina** és la relació entre el temps de la màquina i el temps total del cicle.

$$S_m = \frac{T_m}{C} \times 100$$

ACTIVITAT:

2. En l'estudi de l'operari que treballa a la fresadora hem introduït unes millores de manera que els temps inicialment calculats són sensiblement diferents com ho recull la taula següent

Temps	procés 1	procés 2
$C_1$	400 <sup>oo</sup>	60 <sup>oo</sup>
$C_2$	0 <sup>oo</sup>	400 <sup>oo</sup>
$C'$	400 <sup>oo</sup>	460 <sup>oo</sup>
$T_m$	500 <sup>oo</sup>	500 <sup>oo</sup>
$C$	900 <sup>oo</sup>	960 <sup>oo</sup>

Calcula les saturacions de l'home i de la màquina en els dos processos i indica quin et sembla que és millor. Per poder comparar dibuixa el diagrama home-màquina del procés 2.

### Productivitat comparada

Per calcular la productivitat comparada de dos processos és la següent:

$$\text{Productivitat comparada} = \frac{C_{\text{procés1}}}{C_{\text{procés2}}} \times 100$$

3. En l'estudi dels treball d'un operari amb un torn es disposen de tres escenaris diferents que recull la taula següent:

Temps	escenari 1	escenari 2	escenari 3
<b>C<sub>1</sub></b>	300 <sup>oo</sup>	160 <sup>oo</sup>	100 <sup>oo</sup>
<b>C<sub>2</sub></b>	40 <sup>oo</sup>	110 <sup>oo</sup>	200 <sup>oo</sup>
<b>C'</b>	340 <sup>oo</sup>	270 <sup>oo</sup>	300 <sup>oo</sup>
<b>T<sub>m</sub></b>	400 <sup>oo</sup>	500 <sup>oo</sup>	350 <sup>oo</sup>
<b>C</b>	740 <sup>oo</sup>	770 <sup>oo</sup>	650 <sup>oo</sup>

Calcula en cada escenari la saturació del treballador i la saturació de la màquina i digués quin dels tres mètodes és el més productiu.

### 2.8. Diagrama equip-màquina

El diagrama home-màquina pot servir per estudiar el treball de dos o tres operaris amb una màquina o de varies màquines amb un sol operari. En el cas de dos o més operaris amb una sola màquina, el diagrama s'anomena diagrama equip-màquina. La forma de construir-lo és similar al diagrama home-màquina solament s'ha de tenir present que cal afegir una columna per a cada operari que formi part de l'equip.

#### ACTIVITAT

1. Per poder treballar una peça de grans dimensions amb un torn es requereix un equip de dos operaris. El primer (OP1) és l'encarregat de posar la peça a la màquina (400<sup>oo</sup>), de fer-la funcionar (300<sup>oo</sup>) i la resta del temps està aturat. L'altre operari (OP2) és l'encarregat de maniobrar una grua que col·loca la peça a la màquina (400<sup>oo</sup>) i d'anar al magatzem a agafar una altra peça (500<sup>oo</sup>). La màquina està en funcionament 300<sup>oo</sup> i la resta del temps està aturada.

- Dibuixa el diagrama equip màquina utilitzant el quadre següent:
- Calcula les saturacions dels operaris i de la màquina.

Diagrama d'activitats simultànies equip-màquina									
Empresa				Operació		Estudi núm.		Full	
Departament				Operari		Mèto de		Analista	
OP1				OP2		Màquina			

## 2.9. DIAGRAMA DE MOVIMENT DE MANS

Quan es vol fer un estudi molt detallat de les diferents activitats que es poden fer a la indústria es recorre a l'estudi dels micromoviments. Aquest estudi consisteix a dividir les activitats en micromoviments o *Therbligs*. Aquesta tècnica la va desenvolupar Gilbreth el 1919 i per això rep el seu nom llegit al revés. Gilbreth va distingir 18 micromoviments però avui les normes UNE 50.002 només en reconeix 16 que són els següents:

	<b>Therbligs</b>	<b>Símbol</b>
1	Seleccionar	S
2	Agafar	A
3	Transportar càrrega	TC
4	Posar en posició	P
5	Muntar	M
6	Utilitzar	U
7	Desmuntar	D
8	Inspeccionar	I
9	Posició prèvia	PP
10	Deixar càrrega	DC
11	Transport de buit	TV
12	Descans per vèncer la fatiga	DF
13	Espera inevitable	EL
14	Espera evitable	EE
15	Plantejar	PL
16	Sostenir	SO

El diagrama de moviment de mans és un diagrama similar al diagrama home màquina però en lloc de les activitats del procés es consignen els micromoviments o therbligs.

### Principi d'economia de moviments

En l'anàlisi dels micromoviments ha de seguir-se la regla de simplificar, en la mesura del possible, el nombre de micromoviments a fi d'aconseguir disminuir la fatiga de l'operari. Per això cal seguir unes regles bàsiques que poden agrupar-se en tres grups:

- utilització del cos humà
- distribució del lloc de treball
- disseny de l'eina i de l'equip

#### Normes d'utilització del cos humà

- S'aconsella que tots els treballs que es puguin fer amb altres parts del cos diferents de les mans (p. ex. peus) es facin amb aquestes parts.
- Intentar que el treball es faci de forma rítmica.
- Evitar els canvis bruscos de direcció.
- Evitar que les dues mans estiguin inactives al mateix temps.
- Fer que els moviments dels braços siguin simètrics i simultanis.
- Intentar que les mans comencin i finalitzin a la vegada.
- Intentar que intervingui el menor nombre de músculs possible en els moviments.

#### Normes de distribució de llocs de treball

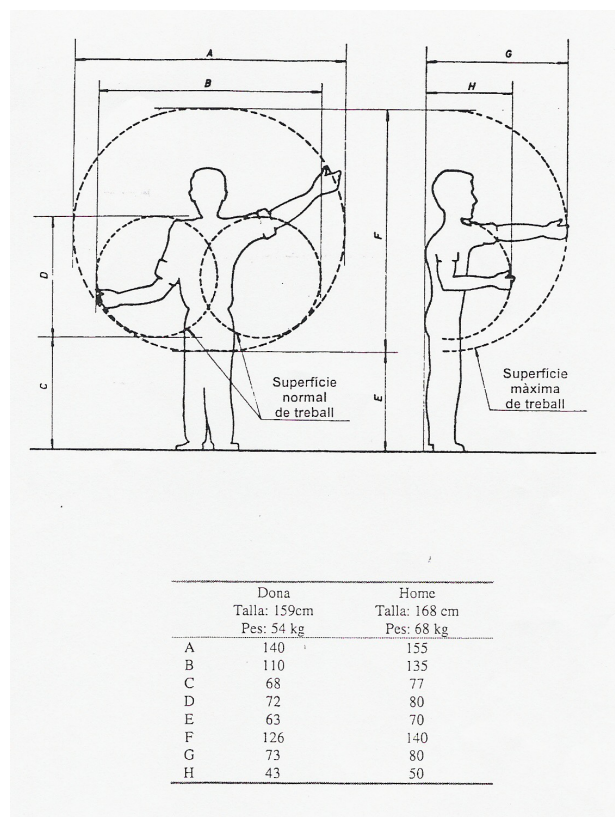
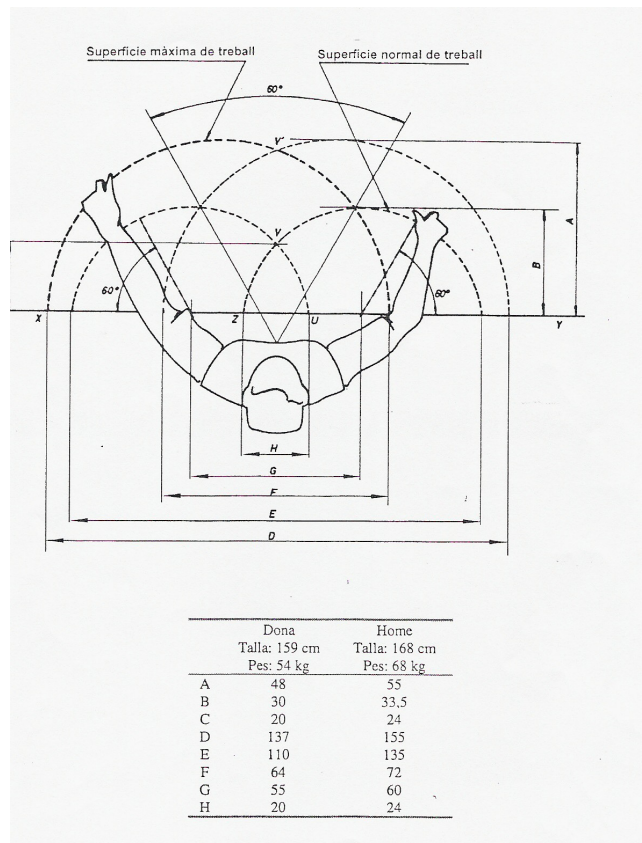
- El color del lloc de treball ha de contrastar amb el de l'operació que s'ha de realitzar. Així es disminueix la fatiga.
- Cada eina i els materials han de tenir un lloc fix per crear un hàbit de treball.



- c. S'ha d'intentar utilitzar la gravetat per al desplaçament dels materials.
- d. Les eines i els materials han d'estar posats en ordre correcte per a l'execució del treball.
- e. Les eines i els materials han d'estar en llocs coneguts per tal d'evitar haver-les de buscar.
- f. Les eines, els materials i els comandaments han d'estar dintre de les esferes de treball.
- g. L'operari, si és possible, ha de treballar indistintament dret o assegut. S'han d'utilitzar banquetes d'una alçada determinada i amb recolzament.

#### Normes de disseny d'eines i equipaments

- a. S'han d'utilitzar suports per tal d'evitar que les mans facin l'acció de suportar.
- b. S'han d'utilitzar palanques i manetes en el lloc on l'operari faci els canvis mínims de direcció del cos.
- c. S'han d'intentar combinar, si es possible, dues o més eines en una de sola.
- d. La càrrega que pot fer cada dit s'ha de distribuir segons les possibilitats de cada un.
- e. Les eines s'han de poder agafar fàcilment, sobretot si són eines amb què es farà un esforç considerable.



### 3. DISTRIBUCIÓ EN PLANTA

De vegades la distribució dels llocs de treball i de les màquines no és la millor per obtenir una productivitat òptima i per això s'aconsella modificar la distribució.

La distribució d'una planta s'ha de fer:

- Quan es projecta una fàbrica nova
- Quan es fa una modificació en el producte fabricat, en el procés utilitzat o quan s'incrementa la producció.
- Quan la fàbrica no funciona be i s'ha de modificar.

Una distribució en planta s'ha de regir per aquestes regles:

- 1) **Integració total:** Que significa que ha d'haver coordinació entre el material, la màquina i l'home.
- 2) **Recorregut mínim i continu:** Que implica que els recorreguts que han de fer els materials i els homes han de ser mínims i sense canvis bruscos de direcció.
- 3) **Aprofitament de l'espai:** Que significa que cal aprofitar les tres dimensions de l'espai al màxim.
- 4) **Seguretat i satisfacció del client:** Que vol dir que la distribució dels llocs de treballs ha de permetre que operaris treballin amb seguretat i que facin la seva feina satisfets i còmodes.
- 5) **Flexibilitat** Les instal·lacions han de permetre fer una variació de la distribució en planta. Això implica que les instal·lacions elèctriques i d'aigua puguin ser derivades des de qualsevol punt i que les màquines es puguin traslladar si convé.
- 6) **Possibilitat d'ampliació:** Que aconsella que al fer la distribució inicial es tingui en compte la possibilitat d'ampliar la fàbrica.

Els beneficis que s'aconsegueixen en fer una bona distribució en planta són:

- a) Reduir al mínim els moviments de material
- b) Augmentar la capacitat de producció amb els mateixos mitjans
- c) Estalviar espai tant en la producció com en l'emmagatzematge.
- d) Disminuir el material en curs de fabricació.
- e) Proporcionar seguretat i confort als operaris.

#### 3.1. Càlcul de la superfície total:

El primer pas per a fer una distribució en planta d'una fàbrica o d'un taller és calcular quina és la superfície necessària.

Per obtenir aquesta dada cal prèviament obtenir-ne altres tres:

- 1) **Superfície estàtica ( $S_S$ )** que és la que correspon a les màquines i altres mobles que es requereixen per dur a terme l'activitat de la fàbrica o taller.
- 2) **Superfície de gravitació ( $S_G$ )** que és la superfície que necessita cada operari al voltant del lloc de treball per poder realitzar la seva feina còmodament. Es calcula multiplicant la superfície estàtica pel nombre N de costats de la màquina als quals l'operari ha de poder accedir.

$$S_G = S_S \cdot N$$

- 3) **Superfície d'evolució ( $S_E$ )** que és la que es requereix per poder fer els desplaçaments del personal i de manteniment. Es calcula sumant els valors de les superfícies estàtiques i de gravitació i corregint aquesta dada per un coeficient k que varia segons el tipus d'indústria.

$$S_E = (S_S + S_G) \cdot k$$

Tipus d'indústria	Interval de valors de k
Grans indústries	0,05-0,15
Treballs en cadena	0,10-0,25
Tèxtil filat	0,05-0,25
Tèxtil teixit	0,5-1
Relotgeria, joieria	0,75-1
Petit mecànic	1,5-2
Indústria mecànica	2-3

La superfície total necessària es calcula amb la suma d'aquestes tres superfícies.

$$S = S_s + S_E + S_G$$

Aquesta superfícies ja inclou les superfícies emmagatzematge dels estocs.

#### ACTIVITAT:

1. Un taller mecànic ha de tenir un torn de 1,2 m<sup>2</sup> al que sols s'ha d'accedir per un costat, un torn d'aire que ocupa 2,5 m<sup>2</sup> i sols s'ha d'accedir per la seva part frontal, una fresadora de 2 m<sup>2</sup> a la que s'ha de poder accedir per dos costats, un trepant radial de 2 m<sup>2</sup> que ha de permetre l'accés per tres costats i una rectificadora de 2,6 m<sup>2</sup> a la que s'hi pot accedir per dos costats. Calcula la superfície necessària. Per fer els càlculs s'aconsella que omplis la taula següent i que consideris una k = 1,8:

Llocs	S <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	N	S <sub>G</sub>	S <sub>E</sub> =(S <sub>s</sub> + S <sub>G</sub> )k
<b>Total</b>				

2. Un taller tèxtil de filatures de cotó té una obridora-mescladora de bales de 5m<sup>2</sup> de superfície, a la qual s'hi ha de poder accedir per dos costats, dos batans dobles de 8m<sup>2</sup> cada un i que s'hi ha de poder accedir per tres costats. Dues cardes de xapons de 10 m<sup>2</sup> cadascuna accessibles pels seus quatre costats. Dues pentinadores de 4m<sup>2</sup> i accessibles per tres costats. Calcula la superfície que ha de tenir aquesta fàbrica. Per fer els càlculs s'aconsella que omplis la taula següent i que consideris el valor de k màxim. (k=0,25)

Llocs	S <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	N	S <sub>G</sub>	S <sub>E</sub> =(S <sub>s</sub> + S <sub>G</sub> )k
<b>Total</b>				

### 3.2. Classes de distribució en planta

#### 1. Distribució en línia o per producte

En la distribució en línia les màquines estan disposades seguint el mateix ordre que el diagrama de producció. És a dir que estan col·locades seguint les fases del procés que cal seguir per obtenir el producte. Un exemple típic és la fusteria on les màquines se situen en línia de manera que les peces passin successivament d'una màquina a una altra.

La distribució en línia té l'avantatge que el transport es redueix al màxim i que es molt fàcil que aquest es dugui a terme de forma automàtica. El personal que es requereix és poc però ha d'estar molt especialitzat.

L'únic desavantatge és que una avaria a la línia de producció paralitza tot el procés.

Així doncs per dissenyar una distribució en línia:

- 1) Cal situar les màquines seguint el mateix ordre que el procés d'elaboració del producte.
- 2) S'ha de calcular la distància entre màquines i la forma de desplaçar les peces.
- 3) Definir les zones d'emmagatzematge entre les màquines.

Un tipus de distribució en línia és **la distribució en cadena** en la qual es té cura que les càrregues de treball entre els diferents llocs estiguin equilibrades per aconseguir una producció òptima. En el disseny s'ha de calcular **l'equilibrat de la cadena**.

Un altre tipus és **la producció en línia** que és similar a la cadena però no tots els productes passen per tots els llocs. Aleshores per a fer la distribució s'utilitza el **mètode de les gammes fictícies**.

#### 2. Distribució funcional o per procés

La distribució funcional consisteix a agrupar les màquines segons les funcions. Habitualment se les agrupa per famílies homogènies. El producte es desplaça entre cada grup de màquines. Aleshores el problema consisteix a escollir la posició adequada per a cada família de màquines perquè les despeses de desplaçament siguin mínimes. Aquest és un problema de programació lineal. En la pràctica es fa servir el **mètode dels hexàgons**.

Aquesta distribució té l'avantatge que permet la fabricació de productes diferents i que les màquines es poden fer funcionar prop de la saturació. En canvi l'inconvenient és que es requereix molta obra especialitzada que pugui programar la màquina segons el producte que hagi de fabricar.

#### 3. Altres distribucions

Les distribucions lineals i funcionals són les més habituals. De vegades en una mateixa fàbrica, determinats productes s'obtenen amb una producció en distribució lineal i d'altres en una distribució funcional. Aleshores es diu que hi ha una **distribució per combinació lineal-funcional**. Però de vegades, si el producte no es pot moure, aleshores són els homes i les màquines els que es desplacen. Per exemple en la fabricació d'un vaixell en una Drassana. En aquest cas es diu que la **distribució és per component fix**.

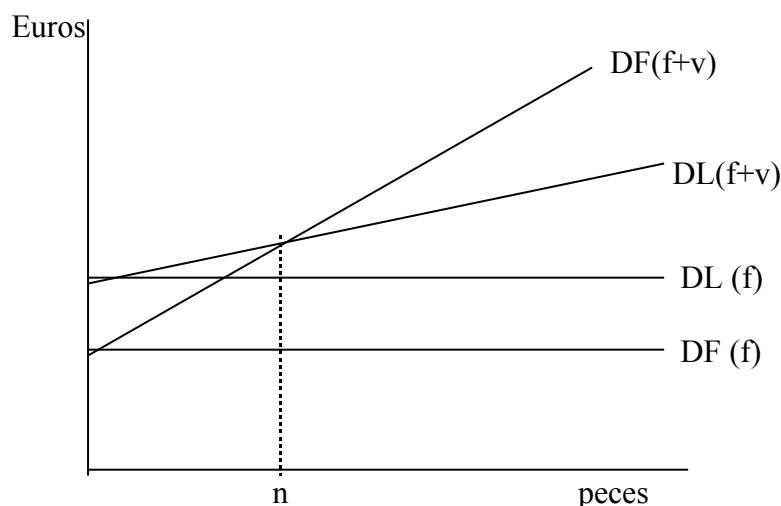
### 3.3. Elecció de la distribució en planta més adequada

No hi ha un criteri universal per fer una elecció adequada de la distribució en planta. Tanmateix, el tipus de producció sovint ens indica quina és la més adient. Així doncs:

- a) **La distribució lineal** és més apropiada en les fàbriques de ciment o de paper on es produeix sempre el mateix producte i la fabricació és de tipus continuat. També se sol fer servir en les fàbriques d'electrodomèstics, bicicletes i cotxes i en tots els casos on hi hagi producció en sèrie i es faci sempre el mateix producte.
- b) **La distribució funcional** és més apropiada quan es treballa sota comanda de moltes unitats i el material es pot desplaçar perquè es tracta de productes poc voluminosos. Aquest és el cas del taller mecànic.
- c) **La distribució per component fix** és més apropiada quan la comanda és petita i les peces que es fabriquen són molt grans, aleshores els operaris han d'anar-se desplaçant. És el cas de la fabricació de ferrocarrils o vaixells.

Finalment, però la distribució més adequada serà aquella que sigui més interessant des del punt de vista econòmic. Per això, determinarem quin és el nombre de peces per sota del qual la fabricació resulta més econòmica amb una distribució funcional. Aquest valor  $n$  l'anomenarem **nombre de peces crític**.

Per triar entre una distribució lineal o funcional es fa una representació dels costos de les dues distribucions. La distribució lineal té uns costos fixos alts deguts a les màquines i uns costos variables baixos perquè els treballadors no cal que siguin gaire especialitzats i els temps de fabricació són reduïts. La distribució funcional, en canvi, té uns costos fixos baixos degut al menor cost de les màquines però els costos variables són alts perquè requereix operaris especialitzats i un major temps per operació.



#### ACTIVITATS

1. Una fàbrica de components electrònics està estudiant iniciar una nova línia de fabricació de circuits integrats, però no sap quin tipus de distribució en planta ha de triar. Si fa servir una distribució lineal, aleshores els costos fixos són de 90.000 euros, mentre que els costos variables s'eleva a un 60% de les vendes del

producte. En canvi, si la distribució és funcional els costos fixos són de 60.000 euros i els costos variables augmenten fins el 80% de les vendes.

Es fa una previsió de vendes que permet fixar el preu de cada unitat en 15 euros. Si la previsió de vendes és de 5.000 unitats per any quina serà la distribució òptima? I si les vendes fossin de 12.000 unitats per any?

- Una empresa que fabrica microordinadors de dos tipus PC1, i PC2 es planteja fer una instal·lació en línia per a la creació de les targes de circuit integrat i l'encaix corresponent, amb un cost fix de 89.000 d'euros anuals. Si es realitza una distribució funcional aprofitant part de la maquinària existent s'ha d'imputar en concepte d'amortització uns costos fixos de 59.000 euros. Els costos variables són del 70% de les vendes en la distribució lineal i del 75% en la distribució funcional. L'ordinador PC1 es ven a 1300 euros i el PC2 a 1500 euros. Les previsions de vendes aquest any són de 1000 unitats de PC1 i de 1500 unitats de PC2. Determina quina serà la distribució en planta més adient.

### 3.4. Mètode dels hexàgons

Si la distribució escollida és la funcional aleshores cal decidir com es situen les màquines perquè la producció sigui òptima. Un dels mètodes utilitzats és els dels hexàgons que consisteix a situar el més properes possible aquelles operacions que tenen més contactes entre si. El mètode l'estudiarem a través de l'activitat següent:

#### ACTIVITAT

1. Una fàbrica elabora dos productes diferents, el producte A en el que ocupa el 60% de la producció i el producte B en el que n'ocupa el 30%. El producte A es compon de tres subproductes A1, A2 i A3 de la mateixa manera que el producte B en té tres B1, B2 i B3. La fàbrica té set llocs de treball per a la fabricació d'ambdós productes que numerarem de l'1 al 7.

La taula següent descriu el procés que segueix cada producte:

A1	1-2-4-5-6-7
A2	3-1-4-6-5-7
A3	2-4-1-6-5-7
B1	2-4-6-7
B2	2-1-3-5-6-7
B3	4-2-1-5-7

Quina serà la distribució dels llocs de treball més convenient perquè la producció sigui òptima?

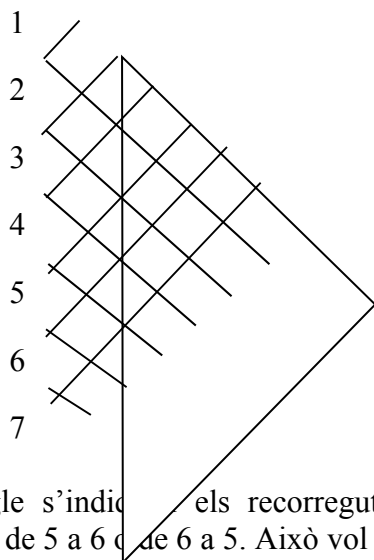
Els passos a seguir són els següents:

a) Es construeix una **taula per producte**

	1	2	3	4	5	6	7
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							

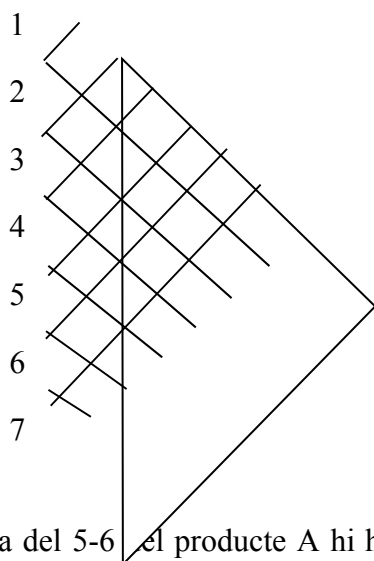
En aquesta taula s'indiquen les vegades que es va d'un lloc a l'altre de manera que en vertical hi ha els llocs de sortida i en horitzontal els llocs d'arribada. Es repetirà aquesta taula tantes vegades com productes hi hagi.

b) Es construeix un **triangle per producte**



En aquest triangle s'indiquen els recorreguts entre dos llocs de treballs sense especificar si van de 5 a 6 o de 6 a 5. Això vol dir que s'hauran de sumar alguns dels valor de la taula del producte. Aquí també es fa un triangle per a cada producte A i B.

c) Com que la producció de A representa un percentatge i la producció de B un altre, s'ha de construir un triangle que resumeixi ponderadament ambdós produccions. Aquest triangle s'anomena **diagrama ponderat**. Aquest diagrama es construeix a partir dels dos triangles de producte sumant les dades de cada casella corresponent degudament multiplicades per percentatge en tant per u.



Així si a la cruïlla del 5-6 del producte A hi ha 3 i a la mateixa cruïlla del triangle del producte B hi ha 1, aleshores en el diagrama ponderat hi posarem:



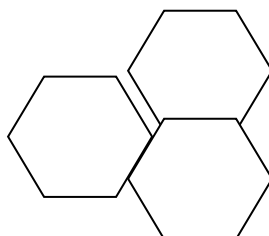
$$2,1 = 3 \cdot 0,6 + 1 + 0,3.$$

Amb aquestes dades construirem una taula que completarem amb els percentatges de cada relació

Relacions	Moviments	Tant per cent
5-6	2,1	$\frac{2,1}{12,6} \times 100$
2-4	1,8	

En aquesta taula les relacions s'ordenen de major a menor. El percentatge de la darrera columna es calcula a partir del valor del moviment en el numerador i la suma de tots els valors dels moviments del diagrama ponderat en el denominador.

- d) Representació dels resultats mitjançant hexàgons de manera que els llocs de treball amb el percentatge més alt de relació estiguin uns al costats dels altres.



2. En un taller es volen fabricar 4 peces A, B, C i D. Per a realitzar-les es requereixen vuit llocs de treball que numerarem de l'1 al 8. El percentatge de producció de cada peça es preveu que sigui respectivament de 15%, 40%, 20% i 25%. La taula següent resumeix el procés necessari per a l'elaboració de cada peça

A	1-2-3-4-5-7-8
B	1-2-5-3-7-8
C	1-4-5-6-2-5-3-8
D	2-5-4-6-3-8

Quina seria la distribució funcional més idònia del taller?

3. En una fàbrica es vol iniciar la producció de dos nous productes A i B. Del producte A es preveu produir-ne un 75% mentre que del B solament un 25%. Els dos processos de producció fan servir 6 llocs de treball amb els que s'elaboraran els tres subproductes A1, A2, i A3 en que es divideix el producte A i els dos subproductes B1 i B2 en que es divideix el producte B. La taula següent resumeix el procés necessari per elaborar aquests subproductes:

A1	2-3-4-5-6-7
A2	1-2-3-4-6-5-7
A3	2-3-4-6-5-7

B1	2-3-4-5-6-7
B2	1-2-3-5-7

Quina seria la distribució funcional més idònia del taller?

### EXERCICIS

1.- En una empresa de fabricació d'uns components de tipus mecànic hi ha un procés que consistent a transportar les peces des del magatzem fins a la fresadora A, a continuació passen per tres polidores successives B, C i D i finalment el producte entra en una sala de pintura E abans de tornar al magatzem. Tot aquest transport es fa amb un toro. El quadre següent ens proporciona algunes dades sobre aquest procés:

Descripció	Temps
Les peces que s'utilitzen en aquest procés procedeixen del magatzem on hi ha un estoc per a 5 setmanes	
Les peces es traslladen amb un toro una distància de 20 m en lots de 30 unitats	5 min.
Les peces són dipositades al costat de la màquina a l'espera de ser processades	
L'operació de fresatge es realitza a la fresadora A que és automàtica. El treballador col·loca la peça, controla el seu funcionament i després la deixa dins d'una capsa i quan les 30 peces estan llestes les diposita de nou en un carretó de tipus toro.	2min/peça
El mateix treballador trasllada amb el toro les 30 peces fins a la polidora B que està a 8 m	10min.
Es realitza l'operació de polit B	15 min.
Les peces es dipositen a sobre d'una taula situada a 2 m i es realitza una inspecció visual	3min/peça
Aquest mateix procés de polit es realitza de manera similar en les polidores C i D entre les quals també hi ha una altra taula per a fer la inspecció visual. Les durades i les distàncies són similars al procés de polit B.	
Es penjen les peces en un transportador	15seg/peça
Es realitza l'operació de pintura de manera automàtica. En aquest procés la peça és sotmesa a la pintura i l'assecat.	10min/peça
Es despengen les peces i es dipositen en una capsa de 30 unitats	20seg/peça
Un altre operari transporta amb un carretó de ma la capsa cap al magatzem que està a 20 m	10 mín.
Totes les màquines estan disposades en línia	

Amb aquestes dades omple el diagrama d'anàlisi de procés i fes un esquema que expliqui quina és la disposició del taller utilitzant com a mesura de temps les deumil·lèsimes d'hora (°°).

2.- En un taller es volen fabricar 5 peces A, B, C, D i E. Per a realitzar-les es requereixen 9 llocs de treball que numerarem de l'1 al 9. El percentatge de producció de cada peça es preveu que sigui respectivament de 25%, 30%, 10%, 15%, 20%. La taula següent resumeix el procés necessari per a l'elaboració de cada peça

A	1-2-4-5-7-8-9
B	1-2-5-3-6-7-8
C	1-4-5-3-6-2-5-3-8-9
D	2-5-4-6-4-2-8
E	1-3-2-5-4-2-7-8-9

Quina seria la distribució funcional més idònia del taller?

#### 4. MESURA DE TEMPS DE TREBALL

**Mesura del treball:** És l'aplicació de les tècniques per a determinar el temps que inverteix un treballador en efectuar una determinada tasca.

ACTIVITAT: El text següent descriu els treballs de Taylor (1856-1915) relatius a la mesura del temps d'un operari. Llegeix-lo i respon a les qüestions plantejades a continuació del text:

"Uno de los primeros estudios emprendidos cuando el autor empezó a introducir el management científico en la Bethlehem Steel Company, fue el de la manipulación de lingotes por el sistema a destajo. Al comienzo de la guerra de EE.UU. con España, unas 80.000 toneladas de lingotes de hierro se encontraban situadas en pequeños montones

en un descampado cerca de la fábrica. El precio del lingote había estado tan bajo que no podía venderse con beneficio, por lo que se fue acumulando. Con el comienzo de la guerra subió el precio del lingote, y pudo venderse este gran stock."

"[...] La Bethlehem Steel Company tenía cinco altos hornos, cuya producción había sido manipulada, durante muchos años, por una brigada de obreros. En la época que consideramos, esta brigada consistía en unos 75 hombres. Todos ellos eran buenos acarreadores de lingotes y estaban bajo las órdenes de un excelente capataz que había sido él mismo acarreador. El trabajo se realizaba, en conjunto, tan rápida y económicamente como en cualquier otro sitio por esa época."

"[...] cada obrero tomaba del montón un lingote que pesaba unos 41 kg, se desplazaba sobre la tabla inclinada y lo dejaba caer al fondo del vagón."

"Constatamos que esta brigada cargaba un promedio de 12'5 toneladas por hombre, cada día. Después de estudiar el asunto, vimos con sorpresa que un acarreador de lingotes muy eficiente debía poder cargar entre 47 y 48 toneladas diarias en lugar de 12'5. Esta cota nos pareció tan elevada que nos vimos obligados a repasar nuestro estudio varias veces hasta adquirir la certeza de que estaba bien calculado. Cuando tuvimos la seguridad de que 47 toneladas diarias eran un trabajo adecuado para un obrero de primera calidad, la tarea que nos esperaba como managers decididos a aplicar los métodos científicos se veía con toda claridad: lograr que las 80.000 toneladas de lingotes fueran cargadas en los vagones a un ritmo de 47 toneladas por hombre y por día en lugar de 12'5 como se venía haciendo hasta entonces. Era también nuestra misión conseguir que este trabajo se hiciese sin provocar huelgas entre los obreros, sin disputas con ellos, y lograr al mismo tiempo que se sintiesen más contentos y satisfechos cargando lingotes al nuevo ritmo de 47 toneladas de lo que lo estaban cuando cargaban 12'5 toneladas."

"El primer paso consistía en seleccionar científicamente a los trabajadores. En este sistema de management, una regla fundamental en el contacto con los trabajadores es hablar individualmente con ellos, pues cada uno tiene sus propias capacidades y limitaciones; no tratamos con masas, sino que intentamos formar a cada individuo para que pueda alcanzar su nivel más alto de eficiencia y prosperidad. En primer lugar, debíamos encontrar al trabajador adecuado con el que empezar. Por lo tanto, durante tres o cuatro días estuvimos observando y estudiando cuidadosamente a los 75 obreros que componían la brigada; al cabo de este tiempo, escogimos cuatro hombres que parecían ser físicamente capaces de cargar lingotes al ritmo de 47 toneladas diarias. A continuación, estudiamos atentamente a cada uno de estos hombres; nos informamos de su historial pasado lo más completamente que fue posible, y realizamos encuestas sobre su carácter, hábitos y ambiciones. Finalmente, seleccionamos de entre los cuatro el que nos pareció más adecuado para empezar. Era un pequeño holandés de Pennsylvania al que habíamos observado cuando volvía por la tarde, a paso ligero, a su casa, que se encontraba a 1'5 km de la fábrica; parecía tan descansado como cuando por la mañana, también a paso ligero, venía hacia el trabajo. Supimos que con un salario diario de 1 dólar y 15 centavos



había logrado comprar una pequeña parcela y que actualmente se estaba construyendo él mismo una pequeña casa; por la mañana, antes de ir al trabajo, y por la noche, después de volver de él, se ocupaba de la casa. Tenía también fama de ser muy 'tacaño', de conceder un gran valor a cada dólar. Como nos dijo un hombre con quien hablamos del trabajador en cuestión: 'un céntimo le parece tan grande como la rueda de un carro'. Daremos a este obrero el nombre de Schmidt."

"La tarea a que nos enfrentamos entonces se limitaba a obtener de Schmidt que cargase 47 toneladas diarias de lingote y que estuviese contento de hacerlo. Esto se hizo del modo siguiente. Llamamos a Schmidt y hablamos con él más o menos en los siguientes términos:

"- Schmidt ¿es usted un trabajador que se cotiza?

"- Pues, no comprendo lo que quiere usted decir.

"- Vamos, por favor, conteste a mis preguntas. Quiero saber si es usted un trabajador cuyo trabajo se paga o uno de esos tipos baratos que hay por aquí. Quiero saber si desea ganar 1 dólar con 85 o se considera satisfecho con 1 dólar con 15, lo mismo que están ganando esos tipos.

"- ¿Que si quiero ganar 1 dólar con 85?; ¿era esto ser un trabajador que se cotiza? Pues sí, lo soy.

"- ¡Oh, me está usted exasperando! Naturalmente que desea ganar 1 dólar 85 cada día; ¡cualquiera lo desea! Pero usted sabe perfectamente que esto no tiene nada que ver con que usted sea un trabajador que se cotiza. Por el amor de Dios, conteste a mi pregunta y no me haga perder más tiempo. Venga conmigo. ¿Ve este montón de lingotes?

"- Sí.

"- Pues bien, si es usted un trabajador que se cotiza, mañana cargará estos lingotes en el vagón por 1 dólar con 85. Ahora despierte y conteste a mi pregunta. Dígame si es un trabajador que se cotiza o no.

"- Bueno, ¿me darán 1 dólar con 85 por cargar mañana estos lingotes en el vagón?

"- Claro que sí, y seguiré recibiendo 1 dólar con 85 todos los días del año por cargar un montón de lingotes como éste. Esto es lo que hace un trabajador que se cotiza y usted lo sabe tan bien como yo.

"- Bueno, de acuerdo. Cargaré este montón de lingotes en el vagón mañana por 1 dólar con 85 y seguiré cobrando lo mismo cada día, ¿no es cierto?

"- Seguro que sí.

"- Bien, entonces soy un trabajador que se cotiza.

"- Cuidado, cuidado. Usted sabe tan bien como yo que un trabajador que se cotiza tiene que hacer exactamente lo que se le manda desde la mañana hasta la noche. Conoce a este hombre ¿verdad?

"- No, no lo he visto nunca.

"- Bien , si es usted un trabajador que se cotiza hará exactamente lo que este hombre le diga mañana que tiene que hacer, desde la mañana hasta la noche. Cuando le diga que tome un lingote y lo transporte, usted lo tomará y lo transportará; cuando le diga que se siente y descansa, usted se sentará. Hará exactamente esto durante todo el día. Además, no discutiré. Un trabajador que se cotiza hace exactamente lo que se le ordena, sin discutir. ¿Entiende esto? Cuando este hombre le diga que trabaje, trabajará; cuando le diga que se siente, se sentará, y no discutiré con él. Nada más; venga mañana aquí a trabajar y antes de la noche sabré si es usted un trabajador que se cotiza o no.

"Todo esto puede parecer un lenguaje más bien rudo. Lo sería, en efecto, si se dirigiese a un mecánico instruido o incluso a un trabajador inteligente. Pero con un hombre de inteligencia algo obtusa, como era el caso de Schmidt, no era un lenguaje áspero, sino apropiado, puesto que fijaba su atención en los elevados salarios que deseaba ganar y la apartaba del trabajo a realizar que probablemente habría considerado imposible de haberle hecho centrar la atención en él.

"[...] Schmidt empezó a trabajar durante todo el día, y, a intervalos regulares, el hombre que estaba a su lado con un cronómetro le decía: 'ahora tome un lingote y transpórtelo; ahora siéntese y descansa; ahora trabaje... ahora descansa,..., etc.'. Trabajaba cuando se le decía que trabajase y descansaba cuando se le decía que descansase y a las cinco y media de la tarde había cargado 47'5 toneladas en el vagón. Nunca dejó de trabajar a este ritmo y de hacer la tarea que se le había fijado, durante los tres años que el autor estuvo en la Bethlehem. Durante este tiempo ganó, en promedio, un poco más de 1 dólar con 85 cada día, mientras que antes no había cobrado nunca más de 1 dólar con 15, que era la tasa corriente de salarios en Bethlehem por esta época. O sea, recibió un salario superior, en un 60%, al que se pagaba a otros obreros que no trabajaban con el sistema de tareas. Un obrero después de otro fue separado del grupo y entrenado para acarrear lingotes al ritmo de 47'5 toneladas por día, hasta que todo el lingote fue cargado a este ritmo y todos los obreros ganaban un salario superior, en un 60%, al que ganaban los demás obreros a su alrededor" (*The Principles of Scientific Management*).

Questions:

1. Fes un resum del text.
2. Com creus que pensava Taylor sobre el treball?
3. En aquest text apareix el concepte de "prima". En quin paràgraf?
4. Segons Taylor quina relació havia d'existir entre la concepció del treball i la seva execució?
5. Quina opinió creus que Taylor tenia sobre la iniciativa personal dels operaris.



#### 4.1. Importància de la mesura dels temps

No es pot concebre un estudi rigorós dels mètodes de treball sense una mesura dels temps. Però la mesura dels temps no sols té a veure amb la millora dels mètodes de treball sinó que també és necessària en diverses fases del procés productiu, com per exemple:

- a) En la programació de la producció i en la determinació dels terminis de lliurament d'un determinat producte o servei.
- b) En el dimensionat dels equips de producció.
- c) En els càlculs del pressupost d'un determinat projecte.
- d) En la determinació dels salaris i el càlcul d'incentius.

De fet no hi ha aspecte de la gestió d'una empresa que no hagi de tenir en compte la mesura dels temps de treball. Per això cal mesurar els temps en:

- a) Les màquines: per saber el temps que triga en fer una determinada peça i així poder programar la càrrega de la màquina, seleccionar noves màquines i fer una correcta distribució en planta entre d'altres coses.
- b) El personal: per saber el nombre de treballadors necessaris, fer el pla de treball i fixar els incentius.
- c) La fabricació: per determinar el temps parcial o total de realització d'una determinada activitat o d'un determinat producte. Amb aquesta dada es podrà comparar dissenys, establir pressupostos, programar processos productius i comparar mètodes de treball.
- d) La gestió: per establir terminis de lliurament de productes i terminis de recepció de matèries primeres i eliminar temps improductius.

Per tot això és tant important escollir un mètode adient per a la mesura dels temps

#### 4.2. Procediments per mesurar el temps

Els diferents mètodes de mesura que se solen emprar són:

- Utilització d'aparells de mesura
- Ús de dades històriques
- Dur a terme un mostratge.
- Fer servir els sistemes de normes de temps predeterminats (NTPD)

En definitiva podem agrupar aquests mètodes en dos grans grups:

- a) Els mètodes que fan servir tècniques d'observació directa de les operacions sigui en el moment actual o en el passat
- b) Els mètodes que utilitzen sistemes de temps predeterminats.

#### 4.3. Mètodes d'observació directa

##### 1. Aparells de mesura

Es tracta del mètode de mesura de temps més utilitzat a la indústria. El càlcul del temps es determina per la fórmula:

$$T_p = T_R \cdot F_A \cdot (1 + K)$$

on  $T_p$  és el temps tipus que busquem

$T_R$  = és el temps del rellotge

$F_A$  = és el factor de actuació (velocitat en la realització del treball)

$K$  = són els suplements de descans.

## 2. Dades històriques

Aquest procediment se sol fer servir quan es disposa de dades del temps que es va necessitar en el passat per fer un producte similar al que es vol mesurar ara. El temps buscat es calcula segons la fórmula:

$$T_P = \frac{T_C + 4 \cdot T_M + T_L}{6}$$

on  $T_P$  és el temps tipus que busquem

$T_C$  és el temps més curt

$T_L$  és el temps més llarg.

$T_M$  és el temps modal que correspon al valor del temps de major freqüència. És a dir, en termes estadístics direm que es tracta de la moda.

## 3. Mostratge

Aquest procediment es fa servir quan el volum de les dades de mesura del temps són enormes. Això implica mesurar moltes dades relatives a tasques fetes en diferents llocs de treball. Per mesurar el temps de treball per mostratge cal disposar d'un rellotge que indiqui l'hora de començament i l'hora d'acabament de cada feina. Així, el temps tipus per peça serà:

$$T_P = \frac{T_E \cdot \bar{P} \cdot F_A \cdot (1 + K)}{n}$$

on  $T_P$  és el temps tipus que es busca,

$\bar{P}$  és el percentatge mitjà que l'operari està treballant. Es determina per mostratge.

$F_A$  = és el factor de actuació (velocitat en la realització del treball)

$K$  = són els suplements de descans.

$T_E$  = Temps total per fer  $n$  peces.

## 4.4. Sistemes de normes de temps predeterminats (NTPD)

Es tracta de tècniques per mesurar el temps utilitzant unes taules de moviments elementals que proporcionen els temps corresponents.

El principi fonamental en què es basa aquest mètode fou introduït per A. B. Segur al 1927 i es coneix amb el nom de **principi fonamental de temps predeterminats**.

**Principi fonamental de temps predeterminats:** Si es repeteix un mateix moviment elemental amb diferents operaris que hagin rebut un ensinistrament adequat, les variacions del temps necessari per a fer aquest moviment són molt petites.

Aleshores cada cicle de treball es pot descompondre en seqüències de moviments elementals els temps dels quals es pot mesurar prèviament i es pot recollir en unes taules. Els moviments elementals en què es divideixen les operacions són similars als *therbligs* i es mesuren en UMT (Unitats de mesura de temps).

$$1UMT = \frac{1}{100.000} \text{ hora} = 0,036 \text{ segons}$$

Els primers sistemes de temps predeterminats van desenvolupar-se als Estats Units en la dècada de 1930-1940. Actualment hi ha més de 200 sistemes per a mesurar el temps de manera predeterminada. Els més destacats són:

- a) MTA (Motion Time Analysis) inventat per A.B. Segur es basava en criteris fisiològics.
- b) QSK (inicials dels seus inventors Quick, Shea i Koehler) que també es coneix com Work Factor.
- c) MTS (Motion Time Standards)
- d) DMT (Dimensional Motion Times) degut a Helmut C. Seppinger
- e) MTM (Methods Time Measurement) degut als treballs de H.B. Maynard a la Westinghouse. D'aquest mètode n'hi ha dues versions el MTM-1 i MTM-2
- f) TPB (Tiempos Predeterminados Bedaux) que va tenir difusió a Espanya.

Els passos a seguir són els següents:

- a) Descompondre la feina en moviments bàsics
- b) Valorar cada moviment utilitzant les taules corresponents
- c) Sumar els temps tipus de cada moviment bàsic. Així aconseguirem el temps tipus de la feina en qüestió.

## 1. MTM Methods Time Measurement.

Aquest sistema de temps predeterminats fa servir els moviments següents:

- Abastar (R de l'anglès reach),
- Moure (M de l'anglès move)
- Girar (T de l'anglès Turn)
- Moviment de maneta (C de Cranking)
- Aplicar pressió (AP d'Apply Pressure)
- Agafar (G de Grasp)
- Deixar anar (R de Release)
- Posicionar (P de Position)
- Desallotjar (D de Disengage)
- Moviments d'ulls, de cos, de cames i de peus.

Cada un d'aquests moviments es divideix en diverses classes que tenen en compta la dificultat del moviment, la precisió, l'angle etc.

La taula 1 dona les dades de temps corresponents a cada un des moviments elementals del sistema MTM en UMT.

Com es pot veure aquest mètode MTM va ser el primer d'aquesta sèrie, per això ara se'l coneix com MTM-1. Com hem vist era bastant complex d'aplicar i per això en casos en què no calia tanta precisió es va recórrer a una versió simplificada el MTM-2 que recull la taula 2.



## 2. TPB Tiempos Predeterminados Bedaux

Aquest sistema va ser elaborat per tècnics espanyols i ha tingut una certa aplicació a Espanya. És un mètode senzill i bastant fiable i precís. Considera els següents moviments elementals:

- Transportat (T)
- Agafar (C)
- Preposicionar (PP)
- Encaixar (E)
- Desmuntar (D)
- Deixar anar (S)
- Passos i Girs (P-G)
- Processos mentals (PM)

De totes maneres cal tenir present que per dominar aquests mètodes cal una formació específica que habiliti per poder-los aplicar. La taula 3 recull els temps TPB.

### 4.5. MESURA DEL TEMPS PER CRONOMETRATGE

L'instrument que s'utilitza habitualment per a mesurar el temps és el cronòmetre. Les unitats en què els cronòmetres solen mesurar el temps són les següents:

- segons (cronòmetre habitual de tipus sexagesimal)
- centèsims de minut (cronòmetre centesimal)
- deumil·lèsimes d'hora (1<sup>oo</sup>)

Dels tres possibles cronòmetres el que se sol utilitzar més és el de deumil·lèsimes d'hora, també té molts adeptes el cronòmetre centesimal. En canvi cada cop s'utilitza menys el cronòmetre sexagesimal.

En la mesura del temps distingirem entre:

**Temps del rellotge** ( $T_R$ ): És el temps que mesura el cronometrador, també se'l coneix com a temps observat.

**Temps normal** ( $T_N$ ): És el temps del rellotge corregit per un factor que representa l'activitat del treballador. Aquest factor és conegut amb el nom de factor d'actuació  $F_A$ .

$$T_N = T_R \cdot F_A$$

$$F_A = \frac{\text{Activitat estimada}}{\text{Activitat normal}}$$

El **factor d'actuació** rep també el nom de ritme de treball. També es diu que és una mesura de l'aprofitament del temps en la realització d'un treball. El cronometrador ha d'avaluar aquest ritme comparant-lo amb el que considera activitat normal. Habitualment s'entén per **activitat normal** aquella que fa un home de 1,68 m d'alçada que fa passes de 75 cm, camina sense càrrega per un terra pla i sense obstacles a condicions ambientals normals (18°C) a una velocitat de 1,25 m/s.

**Temps normal representatiu ( $T_{NR}$ ):** És el temps que representa les diferents mesures de temps normal d'un mateix element de treball. És una mitjana dels temps normals. Així doncs si designen  $T_{Ni}$  els temps normals obtinguts en mesurar  $N$  vegades una mateixa activitat aleshores.

$$T_{NR} = \frac{\sum T_{Ni}}{N} = \frac{\sum T_{Ri} \cdot F_{Ai}}{N}$$

**Temps tipus ( $T_P$ ):** És el temps que finalment es fa servir. Aquest temps té en compta altres factors com ara el cansament del treballador o els suplements de descans. que s'introdueix a través d'un factor  $K$

$$T_P = T_{NR} \cdot (1+K)$$

Així doncs la fórmula general per a calcular el temps tipus és:

$$T_P = \frac{\sum T_{Ri} \cdot F_{Ai}}{N} \cdot (1+K)$$

#### ACTIVITATS

1. Calcula el  $T_{NR}$  d'una activitat de la que s'ha pres les dades de temps amb un cronòmetre sexagesimal i s'ha valorat el factor d'actuació segons indica la taula següent:

Temps (segons)	$F_A$
2,81	1
3,01	0,83
2,74	1,18
2,55	1,27
2,48	1,33

Si es considera que el suplement de descans  $K = 0,12$ . Quin serà el valor del temps tipus d'aquesta activitat?

2. Calcula el temps tipus d'una activitat que ha estat cronometrada amb un rellotge de centèsims de minut i de la qual s'ha estimat els factors d'actuació segons indica la taula següent i el factor de descans considerat  $K = 0,05$ :

Temps (centèsims minut)	$F_A$
5,23	1
4,02	1,05
6,2	0,88
4,12	1,2
3,99	0,9
4,5	1,3
5,5	1

3. S'ha realitzat una sèrie de deu mesures d'una determinada activitat amb un cronòmetre de deumil·lèsimes d'hora. Calcula el temps normal per a cada estimació, el temps normal representatiu i el temps tipus de l'activitat.

Temps (°°)	F <sub>A</sub>
7,1	1
7,09	0,8
8	0,9
9,01	0,88
8,02	0,89
7,02	0,92
7	1,1
8,3	1,2
8,2	1,03
7,9	0,79

Es considera que el valor del factor de descans  $K = 0,2$ .

### Determinació del factor d'actuació

Una de les dificultats per a calcular el temps tipus és determinar correctament el valor del factor d'actuació. Com hem vist abans, aquest factor és el quocient entre l'activitat estimada i l'activitat normal

$$F_A = \frac{\text{Activitat estimada}}{\text{Activitat normal}}$$

L'activitat és un concepte intuïtiu que té a veure en l'apreciació que té el mesurador respecte a si l'operari va lent, va normal o va ràpid. Per realitzar de la manera més rigorosa possible aquesta estimació se solen utilitzar diverses escales. Les més usuals són:

- **Escala centesimal**
- **Escala Bedaux**
- **Escala 75-100**

Escala 75-100	Escala Bedaux	Escala centesimal	
0	0	0	Activitat nul·la
50	40	67	Molt lent. Moviments insegurs. L'operari sembla mig adormit i sense interès per la feina
75	60	100	Activitat normal. Constant, sense pressa però sense perdre el temps.
100	80	133	Activitat màxima. Molt ràpid. l'operari va molt més de pressa que l'habitual.

Aleshores si s'estima que el treballador porta una activitat de 120 en l'escala centesimal aleshores considerarem que el factor d'actuació serà:

$$F_A = \frac{120}{100} = 1,2$$

### Canvi d'escala

La forma de canviar d'escala és molt simple sols cal multiplicar pel valor de l'activitat normal de la nova escala i dividir pel valor normal de l'escala d'estimació.

$$\text{Valor en l'escala Bedaux} = \text{Valor en l'escala centesimal} \times \frac{60}{100}$$

El valor de 60 representa el valor de l'activitat normal en l'Escala Bedaux, mentre que el valor 100 representa l'activitat normal en l'Escala centesimal.

### ACTIVITAT

1. Determina el temps normal representatiu d'un element de treball que s'ha mesurat amb cronòmetre de deumil·lèsimes d'hora i l'activitat ha estat estimada en el sistema centesimal. Els valors s'han recollit a la taula següent:

<b>Temps cronòmetre (<sup>oo</sup>)</b>	<b>Activitat estimada (cent.)</b>
45 <sup>oo</sup>	110
44 <sup>oo</sup>	100
49 <sup>oo</sup>	120
40 <sup>oo</sup>	108

2. Determina el temps normal representatiu d'un element de treball que s'ha mesurat amb cronòmetre sexagesimal i l'activitat ha estat estimada en el sistema Bedaux. Els valors s'han recollit a la taula següent:

<b>Temps cronòmetre (min.)</b>	<b>Activitat estimada (Bedaux)</b>
2,1'	80
2,4'	79
2,3'	74
3,1'	69

3. Determina el temps normal representatiu d'un element de treball que s'ha mesurat amb cronòmetre centesimal i l'activitat ha estat estimada en el sistema 75-100. Els valors s'han recollit a la taula següent:

<b>Temps cronòmetre (<sup>oo</sup>)</b>	<b>Activitat estimada (75-100)</b>
54 <sup>oo</sup>	60
52 <sup>oo</sup>	72
50 <sup>oo</sup>	75
49 <sup>oo</sup>	90

4. Estem interessats en determinar el temps normal representatiu d'un cicle de treball format per tres elements. El primer consisteix en subministrar una peça a la màquina, el segon posar en funcionament la màquina i retirar la peça acabada, i el tercer subministrar cent peces acabades.

- a) La mesura del subministrament d'una peça a la màquina (primer element) s'ha fet amb el cronòmetre determinant la durada en deumil·lèsimes d'hora ( $^{\circ\circ}$ ) en quatre ocasions i, també, s'ha estimat el factor d'actuació utilitzant el sistema centesimal. El resultat el dona la taula següent:

<b>Temps cronòmetre (<math>^{\circ\circ}</math>)</b>	<b>Activitat estimada (cent.)</b>
33 $^{\circ\circ}$	120
37 $^{\circ\circ}$	109
39 $^{\circ\circ}$	106
35 $^{\circ\circ}$	115

- b) La mesura de l'element segons, que consisteix a posar en funcionament la màquina i agafar la peça, s'ha dut a terme amb un cronòmetre sexagesimal i els valor s'han expressat en minuts. L'activitat ha estat estimada en el sistema Bedaux. Els resultats es resumeixen en la taula següent:

<b>Temps cronòmetre (minuts)</b>	<b>Activitat estimada (Bedaux)</b>
1,2'	80
1,4'	75
1,5'	70
1,3'	77

- c) El tercer element que consisteix en subministrar 100 peces s'ha mesurat un sol cop i el valor estimat és de 840 $^{\circ\circ}$  i l'activitat estimada en el sistema centesimal és de 120.

Determina el temps normal representatiu del cicle d'una peça tenint en compte que aquest valor serà la suma dels temps representatius de cada una de les etapes. Tingués en compte que per poder efectuar aquestes sumes els valors de l'activitat i del temps han d'estar en les mateixes unitats ( $^{\circ\circ}$ ) i s'han de referir a una sola peça.

Per fer les operacions pots fer servir la taula següent:

Temps rellotge	Activitat	Conversió $T_R$ ( $^{\circ\circ}$ )	Factor d'actuació $F_A$ (centesimal)	$T_{NR}=T_R \cdot F_A$

#### 4.6. NOMBRE D'OBSERVACIONS NECESSÀRIES

La pregunta que volem respondre a continuació és la següent: Quantes observacions són necessàries per poder calcular el temps normal representatiu amb prou fiabilitat? El que pretenem saber és quantes mesures de cronòmetre haurem de fer per obtenir un  $T_{NR}$  que s'acosti el més possible a la realitat.

Hi ha diversos procediments per obtenir aquest resultat:

- anàlisi estadística
- àbac de Lifson
- taula de Westinghouse
- taula de Mundel

##### 1. Recurs a l'anàlisi estadística

El nombre d'observacions necessàries depèn de l'error  $e$  que s'estigui disposat a assumir i del coeficient de risc  $k$  que es corre amb aquestes condicions. Així doncs si suposem que la llei que regeix les mesures del temps de cronòmetre és una llei Normal o de Gauss en la qual  $\bar{x}$  és la mitjana i  $\sigma$  la desviació típica aleshores. El nombre  $N$  de mesures necessàries vindrà donat per l'expressió:

$$N = \left( \frac{k \cdot \sigma}{e \cdot \bar{x}} \right)^2 + 1$$

Aquesta fórmula ens indica que si volem saber el nombre de mesures necessàries per garantir un determinat nivell d'error i córrer un determinat risc hem de començar per fer unes quantes mesures de les que trobarem la seva mitjana i la seva desviació típica i amb aquestes dades hi podrem trobar el valor de  $N$ .

El valor del coeficient de risc  $k$  es mesura segons la taula següent que com es pot deduir és un terme oposat al nivell de confiança de la distribució normal de Gauss.

Risc d'error	Coefficient de risc $k$
32%	1
5%	2
0,3%	3

Així doncs els passos a seguir són els següents:

- a) Es fa un nombre de mesures del temps amb un cronòmetre
- b) Es calcula la mitjana i la desviació típica d'aquestes dades segons les fórmules:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i \cdot n_i}{\sum n_i} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot n_i}{\sum n_i}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 \cdot n_i}{\sum n_i} - \bar{x}^2}$$

- c) Es decideix l'error  $e$  que s'està disposar a acceptaren % i el coeficient de risc  $k$  que s'està disposat a assumir.
- d) Se substitueixen les dades a la fórmula

$$N = \left( \frac{k \cdot \sigma}{e \cdot \bar{x}} \right)^2 + 1$$

### ACTIVITAT:

1. Una empresa vol realitzar un estudi de temps en una de les seves activitats. Però, per començar a treballar, es planteja quin és el nombre de mesures que s'han de fer per aconseguir que l'error sigui d'un 5% i el risc sigui del 0,3%.

Per determinar el nombre de mesures es comença per fer una primera sèrie de deu observacions del temps mitjançant un cronòmetre sexagesimal.

Temps segons	110	114	122	126	116	135	103	99	133	136
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----

Determina per l'anàlisi estadística el nombre  $N$  de dades necessàries perquè l'error i el risc siguin els desitjats.

2. Una empresa vol realitzar un estudi de temps en una de les seves activitats. Però, per començar a treballar, es planteja quin és el nombre de mesures que s'han de fer per aconseguir que l'error sigui d'un 8% i el risc sigui del 5%.

Per determinar el nombre de mesures es comença per fer una primera sèrie de deu observacions del temps mitjançant un cronòmetre sexagesimal.

Temps segons	125	106	126	103	107	121	102	99	115	119
-----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----

Determina per l'anàlisi estadística el nombre  $N$  de dades necessàries perquè l'error i el risc siguin els desitjats.

3. Una empresa vol realitzar un estudi de temps en una de les seves activitats. Però, per començar a treballar, es planteja quin és el nombre de mesures que s'han de fer per aconseguir que l'error sigui d'un 6% i el risc sigui del 32%.

Per determinar el nombre de mesures es comença per fer una primera sèrie de dotze observacions del temps mitjançant un cronòmetre de deumil·lèsimes d'hora.

Temps oo	45	51	63	72	53	60	68	70	55	67	50	65
-------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Determina per l'anàlisi estadística el nombre  $N$  de dades necessàries perquè l'error i el risc siguin els desitjats.

4. Una empresa vol realitzar un estudi de temps en una de les seves activitats. Però, per començar a treballar, es planteja quin és el nombre de mesures que s'han de fer per aconseguir que l'error sigui d'un 2% i el risc sigui del 0,3%.

Per determinar el nombre de mesures es comença per fer una primera sèrie de deu observacions del temps mitjançant un cronòmetre sexagesimal.

Temps segons	121,0	119,0	122,0	119,7	121,8	121,5	123,6	118,8	119,7	122,4
-----------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Determina per l'anàlisi estadística el nombre  $N$  de dades necessàries perquè l'error i el risc siguin els desitjats.

## 2. Recurs a l'àbac de Lifson

Aquest àbac (figura 1) és una aplicació gràfica del mètode estadístic en què se suposa que s'han fet 10 observacions inicials. Aleshores per calcular el nombre d'observacions necessàries per a un risc  $k$  determinat i un error  $e$  delimitat s'ha de determinar el valor  $B$

$$B = \frac{S - I}{S + I}$$

En el qual  $S$  és el temps més alt aconseguït en les 10 mostres i  $I$  és el temps menor obtingut amb les 10 mostres.

Amb aquest valor  $B$  i el risc  $k$  i l'error  $e$  anem a l'àbac. El risc  $k$  i l'error  $e$  es tallen en un punt. Des d'aquest punt tracem una paral·lela a les ordenades fins a trobar la línia corresponent al valor  $B$  que ens permet trobar en ordenades el valor  $N$  del nombre d'observacions necessàries.

L'àbac de Lifson està pensat per a 10 mesures inicials. Ara bé, si es prefereix fer-ne alguna menys o alguna més també el podem aplicar però aleshores el resultat final obtingut  $N$  s'haurà de corregir multiplicant-lo per un coeficient de correcció que es dona a la taula següent:

Observacions inicials	Coeficient
8	1,16
9	1,07
11	0,94

### ACTIVITAT

1. Hem fet 10 lectures del temps que es triga en fer una determinada activitat. La mesura superior ha estat de 42<sup>oo</sup> mentre que la inferior ha estat de 38<sup>oo</sup>. Calcula el nombre de mesures que s'han de fer per aconseguir que el risc sigui del 2% i l'error del 1%.
2. Hem fet 10 lectures del temps que es triga en fer una determinada activitat. La mesura superior ha estat de 83<sup>oo</sup> mentre que la inferior ha estat de 64<sup>oo</sup>. Calcula el nombre de mesures que s'han de fer per aconseguir que el risc sigui del 3,5% i l'error del 3%.
3. Hem fet 8 lectures del temps que es triga en fer una determinada activitat. La mesura superior ha estat de 53<sup>oo</sup> mentre que la inferior ha estat de 35<sup>oo</sup>. Calcula el nombre de mesures que s'han de fer per aconseguir que el risc sigui del 2% i l'error del 4%.
4. Hem fet 11 lectures del temps que es triga en fer una determinada activitat. La mesura superior ha estat de 125<sup>oo</sup> mentre que la inferior ha estat de 53<sup>oo</sup>. Calcula el nombre de mesures que s'han de fer per aconseguir que el risc sigui del 10% i l'error del 3%.



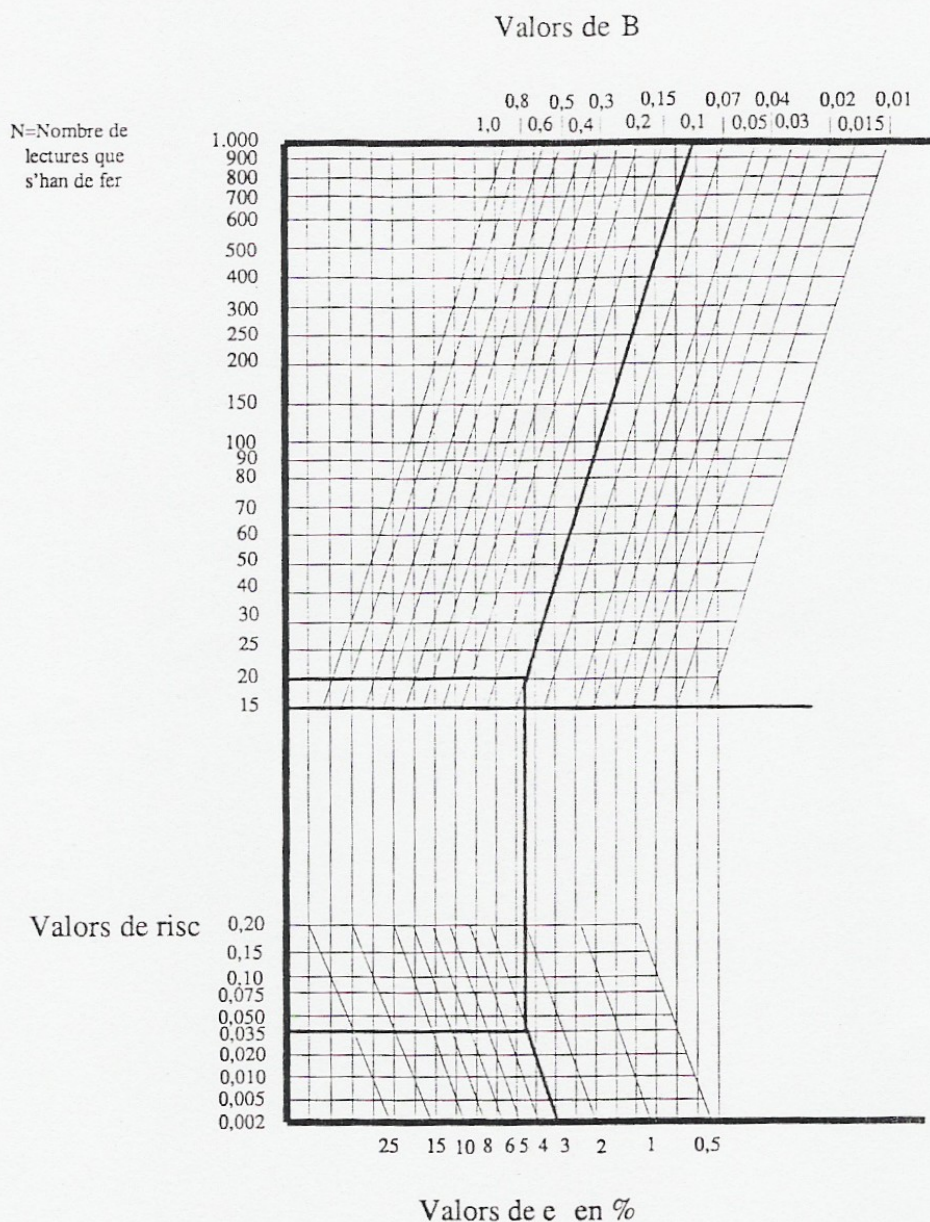


Fig. 1 Àbac de Lifson. Per calcular el nombre d'observacions es fa coincidir la recta del valor de risc amb la de l'error admissible. Un cop trobat el punt d'intersecció, es puja verticalment fins que intersequi la recta del valor de B. El punt trobat es desplaça horitzontalment per trobar el valor de N.

## 4.7 ELS SUPLEMENTS DE DESCANS

El temps que s'ha calculat fins ara és el que es requereix per a fer una operació. Però, aquest temps normal no té en compte que un operari no pot treballar ininterrompudament durant períodes massa prolongats ja que aleshores li arriba el cansament i la fatiga. Per aquesta raó cal incrementar el Temps Normal a través d'un factor K que mesuri els suplementes de descans.

### Fatiga

El fenomen de la fatiga consisteix en la pèrdua de rendiment en el treball produïda per un esforç físic o mental excessiu i prolongat. Hi ha tres tipus de fatigues:

- **Fatiga muscular:** Consisteix en l'acumulació de toxines als músculs que se sol produir per diferents causes. Per exemple si es treballa dret, o el treball requereix un esforç físic molt gran o hi ha mala il·luminació o hi ha unes condicions atmosfèriques dolentes.
- **Fatiga nerviosa:** Consisteix en la recepció en els centres nerviosos d'excitacions agressives. Se solen presentar si hi ha preocupacions constants, excessiu soroll o el treball requereix una excessiva concentració.
- **Fatiga mental:** Consisteix en una sensació d'estrès produïda per una càrrega de treball excessiva.

### Determinació del Temps tipus

Així doncs per determinar el temps tipus d'una determinada activitat de manera que tingui en compte els suplementes de descans caldrà aplicar la fórmula:

$$T_P = T_{NR} \cdot (1 + K)$$

en la qual K representa el suplement de descans que es considera necessari perquè no es presenti la fatiga .

### Determinació del suplement de descans

El coeficient K es determina experimentalment. Per aconseguir-lo s'han realitzat diversos experiments el resultat dels quals ha conduït a l'establiment d'uns catàlegs com el que es resumeix en la taula 4. Per determinar el suplement K cal sumar tots els suplementes de descans i el resultat es divideix per 100.

Les dades que proporciona la taula 4 estan calculades en condicions ambientals normals que són 18°C i 75% d'humitat. Si el treball es realitza en condicions diferents, aleshores cal corregir aquest valors segons un percentatge d'increment.

### ACTIVITATS

1. Determina suplement de descans que s'ha d'aplicar a una feina que consisteix en pujar un objecte 30 kg a mà per un pendent de 20 cm/m en condicions ambientals normals. Quin seria el valor de K si les condicions fossin de 30 ° de temperatura seca i 25 de temperatura humida
2. Determina el suplementes de descans que s'ha d'aplicar a una feina que consisteix a llegir unes fitxa. Dóna el valor de K en condicions normals i a temperatura seca de 39° i temperatura humida de 30°.

Taula 4 CATALEG DE SUPLEMENTS DE DESCANS		
Desplaçaments horitzontals	Terra bo Terra regular Terra dolent	8 12 20
Suplements per càrrega	Portada a braços <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 kg</li> <li>• 20 kg</li> <li>• 30 kg</li> </ul>	2-5 5-8 12-20
	Sobre les espatlles <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 kg</li> <li>• 20 kg</li> <li>• 40 kg</li> <li>• 50 kg</li> <li>• 60 kg</li> <li>• 80 kg</li> <li>• 100 kg</li> <li>• 120 kg</li> </ul>	0-2 3-6 8-10 20 30 60 100 120
Per mantenir càrregues llargues en equilibri	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 m</li> <li>• 5 m</li> </ul>	2 5
Suplement per centímetre de pendent (fins 40 cm/m)	Pujada <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 kg</li> <li>• 10 kg</li> <li>• 20 kg</li> <li>• 30 kg</li> <li>• 40 kg</li> <li>• 50 kg</li> <li>• 60 kg</li> <li>• 80 kg</li> <li>• 100 kg</li> </ul>	0,5 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0
Suplement per centímetre de pendent (fins 40 cm/m)	Baixada <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 kg</li> <li>• 10 kg</li> <li>• 20 kg</li> <li>• 30 kg</li> <li>• 40 kg</li> <li>• 50 kg</li> <li>• 60 kg</li> <li>• 80 kg</li> <li>• 100 kg</li> </ul>	0,2 0,2 0,3 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4
Pujar o baixar escales	Pujada <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 kg</li> <li>• 10 kg</li> <li>• 20 kg</li> <li>• 30 kg</li> <li>• 40 kg</li> <li>• 50 kg</li> </ul>	30-40 35-45 40-50 50-60 60 80
	Baixada <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 kg</li> <li>• 10 kg</li> <li>• 20 kg</li> <li>• 30 kg</li> <li>• 40 kg</li> <li>• 50 kg</li> </ul>	10-20 15-25 20-30 30-40 40 50
Desplaçaments de vehicles	Tracció d'un carro de taller sobre terra llis. Càrregues de 100 kg a 400 kg	15-30
	Empènyer un carro de taller sobre terra llis. Càrregues de 100 kg a 400 kg	15-30
	Empènyer una vagoneta sobre rails. Càrregues de 100 kg a 400 kg	15-30
	Tracció d'un carro de mà. Càrregues de 100 kg a 400 kg	15-30
	Empènyer un carretó. Càrregues de 100 kg a 400 kg	20-40
	Suplement per vehicles pneumàtics	2
	Suplement pe resistència a l'arrancada en desplaçaments curts (inferiors a 15 m)	5-10
Valors per treballs mentals	Lectura d'una fitxa Mecanografia Escriptura a llapis Escriptura a tinta Petits càlculs	12 15 10-12 12-15 20-25

*Taula 9.1 Percentatge d'augment sobre el temps de descans motivat per la temperatura i la humitat*

Temperatura del termòmetre sec en °C

[illegible]

Temperatura del termòmetre humit en °C



# ALCANZAR -R- (Reach)

Distancia en cm	R-A	R-B	R-C	R-D	R-E	mR-A	mR-B	m	DESCRIPCION DE LOS CASOS
						R-Am	R-Bm	(casos)	
2	2.8	2.8	3.6	2.2	1.7	1.6	0.6		A Alcanzar un objeto siempre situado en el mismo sitio o un objeto en la otra mano
4	3.4	3.4	5.2	3.0	2.6	2.1	1.3		
6	4.5	4.5	6.5	4.4	3.5	2.5	2.0		
8	5.4	5.5	7.6	5.6	4.3	3.1	2.4		
10	6.1	6.5	8.4	6.8	4.9	3.7	2.8		
12	6.4	7.5	9.1	7.3	5.2	4.6	2.9		B Alcanzar un objeto aislado cuyo emplazamiento puede variar ligeramente de uno a otro
14	6.8	8.3	9.7	7.7	5.5	5.5	2.9		
16	7.1	8.9	10.3	8.2	5.8	6.0	2.9		
18	7.5	9.5	10.9	8.7	6.2	6.5	3.0		
20	7.8	10.0	11.4	9.2	6.5	7.1	2.9		
22	8.2	10.6	12.0	9.7	6.8	7.7	2.9		C Alcanzar un objeto mezclado a otros de tal manera que haya búsqueda y selección
24	8.5	11.2	12.5	10.2	7.1	8.2	3.0		
26	8.9	11.7	13.1	10.7	7.4	8.8	2.9		
28	9.2	12.2	13.4	11.2	7.8	9.4	2.8		
30	9.6	12.8	14.1	11.6	8.1	9.9	2.9		
35	10.4	14.3	15.5	12.8	8.8	11.3	3.0		D Alcanzar un objeto muy pequeño a un objeto a coger con precisión
40	11.3	15.6	16.8	14.1	9.6	12.8	2.8		
45	12.1	17.0	18.2	15.3	10.4	14.2	2.8		
50	13.0	18.4	19.6	16.5	11.2	15.6	2.8		
55	13.9	19.9	20.9	17.7	12.0	17.0	2.9		
60	14.8	21.3	22.3	18.9	12.8	18.5	2.8		E Desplazar la mano hacia una posición indefinida bien para asegurar el equilibrio del cuerpo bien para preparar el movimiento siguiente bien para despejar la zona de trabajo
65	15.6	22.7	23.7	20.2	13.6	19.9	2.8		
70	16.5	24.1	25.0	21.4	14.4	21.3	2.8		
75	17.4	25.5	26.4	22.6	15.2	22.8	2.7		
80	18.3	26.9	27.7	23.8	16.0	24.1	2.8		

# MOVER -M- (Move)

Distancia en cm	M-A	M-B	M-C	mM-B	m	Esfuerzo	DESCRIPCION DE LOS CASOS
				M-Bm	(casos B)	Kg Coef <sup>te</sup>	
2	2.2	2.5	3.0	1.9	0.6	0	1.00 Mover un objeto hacia la otra mano o hasta un tope
4	3.0	3.3	4.5	3.2	1.1	a	
6	4.1	4.9	5.7	3.1	1.8	a	
8	5.2	6.0	6.9	3.7	2.3	2.5	
10	6.1	7.0	8.0	4.3	2.7	a	
12	6.9	7.8	8.9	4.8	3.0	2.6	1.03  <

# GIRAR -T- (Turn)

Angulo de giro en grados	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	Esfuerzo en Kg.
2.8	3.5	4.1	4.8	5.4	6.1	6.8	7.4	8.1	8.7	9.4		Debil S (Small) 0 - 1
4.4	5.5	6.5	7.5	8.5	9.6	10.6	11.6	12.7	13.7	14.8		Mediano M (Medium) 1.1 - 5
8.4	10.5	12.3	14.4	16.2	18.3	20.4	22.2	24.3	26.1	28.2		Grande L (Large) 5.1 - 18

# APLICAR PRESION -AP- (Apply pressure)

IP1	16.2	Comprende un G2
IP2	10.6	No comprende un G2

# COGER -G- (Grasp)

CASOS	TMU	DESCRIPCION
G1	A	2 Coger un objeto facil de tomar
	B	3.5 Coger un objeto muy pequeño o un objeto plano sobre una superficie plana
	C	1 7.3 $\phi$ (12....) m/m
		2 8.7 $\phi$ (6....12) m/m
		3 12.8 $\phi$ (....6) m/m
G2		5.6 Reasir, asegurar el control sin saltar el objeto
G3		5.6 Pasar un objeto de una mano a la otra
G4	A	$\phi$ (25....) m/m
	B	$\phi$ (6....25) m/m
	C	$\phi$ (....6) m/m
G5		0 Establecer contacto con un objeto

# SOLTAR -RL- (Release)

RL1	2	Soltar normal, por apertura de los dedos
RL2	0	Cesar el contacto

Taula 1: Dades de temps corresponents a cada un des moviments elementals del sistema MTM-1 en UMT  
(Font: CASTANYER F. Métodos y Tiempos, Barcelona. Marcombo, 1993. 117-119)

## Posicionar — P — (Position)

CLASES	Simetría	Manipulación	
		E: fácil	D: difícil
P1 Sin necesidad presión D-d = (1,5...6) m/m	S	5,6	11,2
	SS	9,1	14,7
	NS	12,4	16,0
P2 Con ligera presión D-d = (...1,5) m/m	S	16,2	21,8
	SS	19,7	25,3
	NS	21,0	26,6
P3 Con fuerte presión D-d = (...1,5) m/m	Analizar los AP necesarios a añadir a los valores de la clase P2		

### DESALDAR - D- (disengage)

CLASE	Manipulación	
	E: fácil	D: difícil
D1 Esfuerzo ligero. Sin retroceso perceptible de la mano	4,0	5,7
D2 Esfuerzo mediano. Retroceso de la mano = (...12) cm	7,5	11,8
D3 Esfuerzo grande. Retroceso de la mano = (12...30) cm	22,9	34,7

### DESPLAZAR LA MIRADA - ET- (Eye travel)

Tiempo máximo 20 TMU	- $2885 \times \text{ángulo de rotación de los ojos, en grados}$
	- $\frac{15,2 \times T}{D}$ { T: distancia entre los 2 puntos mirados D: distancia del ojo a la recta juntando estos dos puntos

### EXAMINAR - EF- (Eye Focus)

Tiempo = 7,3 TMU

### MOVIMIENTOS DEL CUERPO, DE LAS PIERNAS Y DE LOS PIES

DESCRIPCION	Simbolo	Distancia	TMU
- Movimiento del pie alrededor del tobillo	FM	Hasta 10 cm	8,5
- El mismo con fuerte presión	FMP		19,1
- Movimiento de la pierna articulado en la rodilla o en la cadera	LM	Hasta 15 cm	7,1
		cada cm más	0,5
PASO LATERAL. Caso I: Terminado cuando la pierna movida alcanza el suelo.	SS-C1	Menos de 30 cm	R o M
		30 cm	17,0
		cada cm más	0,2
Caso II: Terminado cuando la segunda pierna levantada alcanza el suelo.	SS-C2	30 cm	34,1
		cada cm más	0,4
Inclinarse - Agacharse - Poner una rodilla en tierra	BS. KOK.		29,0
Enderezarse.	AB. AS. AKOK		31,9
Arrodillarse	KOK		69,4
Levantarse	AKOK		76,7
Sentarse	SIT		34,7
Levantarse	STD		43,4
Girar el cuerpo de 45° a 90°			
Caso I: Terminado cuando la pierna levantada alcanza el suelo	TBC1		18,6
Caso II: Terminado cuando la segunda pierna levantada alcanza el suelo	TBC2		37,2
ANDAR { POR METRO POR PASO POR PASO MOLESTO	W/M		17,4
	W/P		15,0
	W/PQ		17,0

### MOVIMIENTOS DE MANIVELA - C-

DIAMETRO en cm.	A.-El codo se queda fijo en un punto situado aproximadamente en la prolongación del eje del volante		B.-El codo describe un círculo lo que puede ser paralelo, oblicuo o perpendicular al plano del volante	
	Primera vuelta	otras vueltas	Primera vuelta	otras vueltas
2	13,4	8,2		
4	14,4	9,2	14,4	9,2
6	15,2	10,0	15,2	10,0
8	15,9	10,7	15,9	10,7
10	16,5	11,3	16,5	11,3
12	17,1	11,9	17,1	11,9
14	17,6	12,4	17,6	12,4
16	18,0	12,8	18,0	12,8
18	18,4	13,2	18,4	13,2
20	18,8	13,6	18,8	13,6
22	19,1	13,9	19,2	14,0
24	19,4	14,2	19,5	14,2
26	19,7	14,5	20,0	14,5
28	19,9	14,7	21,4	15,0
30	20,2	15,0	22,4	15,4
35	20,7	15,5	25,4	16,2
40	21,1	15,9	28,2	17,0
45			31,4	18,0
50			34,2	19,4
55			37,5	20,0
60			40,7	20,6

Taula 1: Dades de temps corresponents a cada un des moviments elementals del sistema MTM-I en UMT  
(Font: CASTANYER F. *Métodos y Tiempos*, Barcelona. Marcombo, 1993. 117-119)



MOVIMIENTOS DE LAS MANOS Y DE LOS BRAZOS			MOVIMIENTOS DEL CUERPO Y OTROS		
Movimientos y su descripción	TMU	Símbolo	Movimientos y su descripción	TMU	Símbolo
ALCANZAR (y = long. en cm.) <sup>1</sup>			PASO LATERAL		
Normal	3•0,4y	Ry	Caso 1	20	SS1
En movimiento	0,4y	mRy	Caso 2	40	SS2
MOVER (y = long. en cm.)			GIRAR EL CUERPO		
Normal			Caso 1	20	TB1
En movimiento	3•0,4y	My	Caso 2	45	TB2
Con peso (> 2,5)	0,4y	mMy			
po 0,5 Kg	0,5	Kilos	INCLINARSE O LEVANTARSE	35	B, AB
COGER			AGACHARSE O LEVANTARSE	35	S, AS
Simple	3	G 1			
Reasir	6	G 2	ARRODILLARSE		
Transfer	6	G 3	Sobre una rodilla	35	KOK
Complejo	10	G 4	Levantarse	35	AKOK
			Sobre las dos rodillas	80	KBK
			Levantarse	90	AKBK
SOLTAR	2	RL1	SENTARSE	40	SIT
POSICIONAR			LEVANTARSE	50	STD
Ajuste ligero-Sim.	10	P1S			
▪ Resto	15	P1NS	ANDAR (y = número de pasos)	17y	WyP
▪ medio-Sim.	20	P2S			
▪ Resto	25	P2NS	MOVIMIENTO DE LA PIERNA	10	LM
▪ duro-Sim.	50	P3S			
▪ Resto	55	P3NS	MOVIMIENTO DEL PIE		
			Simple	10	FM
GIRAR	8	T	Con presión	20	FMP
APLICAR PRESION	15	AP	TIEMPO DE MIRAR	10	E

Taula 2: Dades de temps corresponents a cada un des moviments elementals del sistema MTM-2 en UMT (Font: CASTANYER F. *Métodos y Tiempos*, Barcelona. Marcombo, 1993. 121)

Besa		Tablas de TPB		1 U=0,005' (actividad 60)	
T-Transportar (a o m)		Dificultad		Nota: Para peso o resistencia superior a 1 kg añadir 1	
Distancia	cm	N(1)	D(2)		
Muy corta	>10	1/2	1	(1) Libres o con 1GD	
Normal	-30	1	2	(2) Más de 1GD y mov. <sup>tos</sup> tronco	
Larga	-80	2	3	MD SIMO	
Muy larga	>80	3	4		
C-Coger		—	1	2	1 Sólo D o MD
			1M	2M	
PP-Preposicionar		—	1	2	1 Sólo 1M

<E-ensamblar	Dificultad		D-desmontar	Dificultad	
	0>5	0<5		-1 kg	>1 kg
r<0,9	1	2,5	1 ó 2 mov. <sup>tos</sup>	1	2
r>0,9	2,5	3,5	>2 mov. <sup>tos</sup>	v. tabla T	
Suplementos	P-pasos y C-giros			<10 kg	>10 kg o peldaño
Por cada 2 kg	1	2	Por P (75 cm)	2,5	3
DA>20 cm			Por G<90°		
DO>15 cm			Por G>90°	5	6
CT>15 cm					
CP> 2 cm	2,5	5			
CP>15 cm	3,5	7	PM-Proceso mental		
Orientar (Or)				1 Pl o	>1 Pl o
Simo (Si)				<100 cm²	>100 cm²
Nota: DO y SIMO excluyentes			Por punto	1,5	2,5

Taula 3: Dades de temps predeterminats Bedaux ((Font: CASTANYER F. *Métodos y Tiempos*, Barcelona. Marcombo, 1993. 125)

## EXERCICIS

1.- Estem interessats en determinar el temps normal representatiu d'un cicle de treball format per tres elements. El primer consisteix a subministrar una peça a la màquina, el segon, a posar en funcionament la màquina i retirar la peça acabada, i el tercer, a subministrar cent peces acabades.

a) La mesura del subministrament d'una peça a la màquina (primer element) s'ha fet amb el cronòmetre determinant la durada en deumil·lèsimes d'hora (<sup>oo</sup>) en quatre ocasions i, també, s'ha estimat el factor d'actuació utilitzant el sistema centesimal. El resultat el dona la taula següent:

<b>Temps cronòmetre (<sup>oo</sup>)</b>	<b>Activitat estimada (cent.)</b>
55 <sup>oo</sup>	115
57 <sup>oo</sup>	100
53 <sup>oo</sup>	116
54 <sup>oo</sup>	120

b) La mesura de l'element segon, que consisteix a posar en funcionament la màquina i agafar la peça, s'ha dut a terme amb un cronòmetre sexagesimal i els valor s'han expressat en minuts. L'activitat ha estat estimada en el sistema Bedaux. Els resultats es resumeixen en la taula següent:

<b>Temps cronòmetre (minuts)</b>	<b>Activitat estimada (Bedaux)</b>
2,5'	80
2,7'	73
2,8'	75
2,6'	78

c) El tercer element que consisteix a subministrar 90 peces s'ha mesurat un sol cop i el valor estimat és de 480<sup>oo</sup> i l'activitat estimada en el sistema centesimal és de 120. Determina el temps normal representatiu del cicle d'una peça.

4. En una empresa es vol realitzar un estudi del temps tipus de treball d'una determinada operació. Per això en primer lloc es cronometra deu vegades la mateixa operació en segons i es determina l'activitat segons l'escala Bedaux. El resultat és el següent:

<b>Temps (segons)</b>	<b>Activitat estimada</b>
110	75
115	72
132	58
125	60
117	70
145	50
157	48
127	62



135	57
132	56

- a) En primer lloc s'ha de determinar quin és el nombre mínim d'observacions perquè el nivell d'error sigui del 2% amb un risc admès del 0,3%
- b) Amb el nombre de dades determinades en l'apartat anterior calcula el temps normal de rellotge i el temps tipus si el coeficient de descans considerat és de 0,35. Si per aquesta operació necessites més dades pots fer servir les de la taula següent:

<b>Temps (segons)</b>	<b>Activitat estimada</b>	<b>Temps (segons)</b>	<b>Activitat estimada</b>
117	74	127	62
118	70	135	57
142	57	132	56
155	54		
117	70		
155	50		
145	55		



## **Crèdit 5: PROCESSOS I GESTIÓ DE MUNTATGE D'INSTAL·LACIONS.**

5. El manteniment industrial.....	95
Definició i conceptes bàsics	
Metodologia del manteniment	
El manteniment correctiu	
Els manteniments preventius	
Evolució del manteniment	
Exercicis	
6. El material a mantenir.....	108
Classificació del parc de material.	
El coneixement de la màquina: l'inventari, el dossier màquina i el fitxer històric.	
La patologia del material.	
Càlcul de la taxa de fallada	
La fiabilitat	
Models estadística de la fiabilitat.	
Model estadístic en període de vida útil	
Model estadístic en període de desgast	
Model estadístic en període de rodatge: La llei de Weibul	
Estructura del paper d'Allan Plait.	
Aplicació del MTBF.	
Fiabilitat de sistemes	
Mantenibilitat	
Disponibilitat	
Exercicis	
7. Gestió d'estocs.....	141
Definició d'estoc.	
Necessitat dels estocs.	
Funcions que exerceixen els estocs.	
Classificació dels estocs.	
Factors que intervenen en la gestió d'estocs	
Mètode d'aprovisionament	
Model de Harris-Wilson	
Avantatges dels grans magatzems.	
Descomptes per comprar a l'engròs	
Demanda insatisfeta	
Exercicis	

## 5. MANTENIMENT INDUSTRIAL

**5.1 Definició de manteniment:** Conjunt d'accions destinades a mantenir o a restablir un bé a un estat o a unes condicions donades de seguretat en el funcionament per a complir amb una funció requerida.

Aquesta definició sembla oblidar-se de l'aspecte econòmic. Per això, direm que **el bon manteniment és aquell que assegura les operacions a un cost global òptim.**

### **El manteniment és la medicina de la màquina**

Es pot establir un paral·lelisme entre el cicle de la vida humana i el cicle de vida d'una màquina.

<b>vida humana</b>	<b>vida d'una màquina</b>
Naixement	Posada en servei
Longevitat	Durabilitat
Bona salut	Fiabilitat
Mort	Rebuig

El manteniment, però, comença abans de la primera avaria d'una màquina. De fet, hauria de començar des del mateix moment en què la màquina es concep, ja que és aleshores que s'ha de tenir en compte la seva durada, la seva facilitat o dificultat per tenir avaries i la seva aptitud per a ser reparada.

El paper d'un servei de manteniment en una empresa s'estén també a l'instant de triar la màquina que s'ha de comprar. En aquest moment, el servei de manteniment ha d'aconsejar quina és la millor oferta tenint en compte els seus propis criteris.

Posteriorment, el servei de manteniment ha de participar en la instal·lació i posada en marxa de la màquina. Així, des del primer dia de funcionament podrà elaborar un dossier de funcionament i programar el manteniment.

La missió del manteniment és triple:

- 1) Vigilància permanent i periòdica
- 2) Reparacions
- 3) Accions preventives.

Finalment, el servei de manteniment és el que determina el moment de cessament de la màquina i la seva substitució per una altra.

### **El servei de manteniment en una empresa**

Hi ha tres tipus d'indústries que tenen serveis de manteniment integrats a la seva estructura:

- Empreses manufactureres: que tenen un gran parc de màquines i que fabriquen nombrosos productes. Per exemple la caldereria.
- Empreses de procés: que tenen una producció en sèrie de pocs productes. Per exemple les refineries i les papereres.
- Empreses de serveis: que tenen equips diversos. Per exemple els hospitals o les empreses de transports.

Hi ha dos factors que determinen la importància del manteniment en una empresa:

- **Els costos d'aturada:** Així doncs, en una empresa de procés quan més gran sigui la despesa ocasionada per una aturada en la producció, major haurà de ser la despesa en manteniment.
- **La seguretat:** En una empresa de serveis, quan més important sigui mantenir la seguretat de les persones o dels productes, major haurà de ser la despesa en manteniment.

#### **Àrees d'actuació del servei de manteniment:**

- Manteniment dels equipaments que consisteix en accions correctores, accions preventives, reparacions i revisions.
- Millora del material sota l'òptica de la qualitat, de la productivitat i de la seguretat.
- Participació en l'elecció, instal·lació i posada en marxa dels equipaments nous.
- Vigilància de la higiene, la seguretat, el medi ambient, les condicions de treball i la gestió energètica.
- Reconversió de locals, modificacions i demolicions.
- Fabricació i reparació de peces de recanvi.
- Aprovisionament i gestió de les eines i dels recanvis.
- Manteniment general dels edificis administratius o industrials, dels espais verds i dels vehicles.

#### **El servei de manteniment en l'organigrama de l'empresa**

El servei de manteniment ha de pertànyer al departament tècnic però ha d'estar al mateix nivell que la producció, ja que mentre el servei de producció té una visió a curt termini sobre el manteniment dels equipaments, el servei de manteniment, en canvi, ha de tenir una perspectiva a llarg termini.

El servei de manteniment ha de tenir un departament de **mètodes**, un de **proveïment** i un altre de **realitzacions**.

El departament de mètodes serveix per establir quina ha de ser la forma d'actuar. El de proveïment ha de facilitar una intervenció ràpida en el moment precís en què sigui necessari. El departament de realitzacions ha de garantir que l'actuació serà efectiva.

Una manera eficaç d'organitzar el servei de manteniment és per equips multitècnics formats per un cap d'equip, un electricista, dos hidràulics, dos tubers i un mecànic. Aquests equips han d'estar lligats a uns equipaments determinats del parc de màquines.

#### **Tipus de manteniment**

Hi ha dos tipus de manteniment: preventiu i correctiu.

**Manteniment preventiu:** És el manteniment que es fa amb la intenció de reduir la probabilitat de fallada o deteriorament d'un bé. És divideix en tres tipus: condicional, sistemàtic i previsor.

- **Manteniment preventiu condicional:** És un manteniment que s'efectua quan se supera un determinat llindar que s'ha preestablert amb antelació i que és indicatiu del deteriorament d'un producte o servei.

- **Manteniment preventiu sistemàtic:** És un manteniment que s'efectua segons un programa establert prèviament en funció del temps o del nombre d'unitats d'us.
- **Manteniment preventiu previsor:** És el manteniment que es duu a terme en funció dels resultats obtinguts en l'anàlisi d'uns paràmetres que són significatius del deteriorament del producte. Aquests resultats poden avançar, endarrerir o planificar les actuacions.

**Manteniment correctiu:** És el manteniment que es posa en pràctica després d'haver-se produït la fallada. Consisteix en un seguit d'accions que consisteixen a: a) localitzar la fallada i establir-ne el seu diagnòstic, b) reparar-la amb modificacions o sense, c) i després, controlar del bon funcionament. Hi ha dos tipus de manteniment correctiu: pal·liatiu i curatiu.

- **Manteniment correctiu pal·liatiu:** És el manteniment que es fa perquè se solucioni provisionalment una fallada. Se sol dir que s'ha fet un *arranjament*. Tanmateix el seu caire provisional obliga a que posteriorment s'hagin de prendre accions de tipus més definitiu.
- **Manteniment correctiu curatiu:** És el manteniment que es fa quan es vol solucionar definitivament una fallada. Aleshores se sol parlar de *reparació*.

### Els temps relatius al manteniment

El funcionament d'una màquina o en general d'un determinat bé o servei està format per períodes de bon funcionament i períodes d'aturada. La suma de la durada d'aquests dos períodes constitueix el temps exigit.

- **Temps exigit (TE):** és el temps que la persona que ha d'utilitzar el bé exigeix que estigui en estat de complir la funció requerida.
- **Temps efectiu de disponibilitat:** és el temps en el qual pròpiament el bé està en condicions de complir la seva funció
  - **Temps de bon funcionament (TBF):** és el temps en el que el bé està complint la seva funció.
  - **Temps d'aturada per causes de la fabricació (TAF):** és el temps en el qual el bé és apte per complir la seva funció però no és requerit.
- **Temps efectiu d'indisponibilitat (TA):** és el temps en què el be no és apte per complir la seva funció.
  - **Temps d'aturada per manteniment (TAM):** És el temps en què el bé no és apte per complir la seva funció degut a una fallada o a l'acció del manteniment preventiu.
  - **Temps d'aturada per causes externes (TAF):** És el temps en que el be és apte però no pot funcionar degut a causes externes com per exemple la manca de ma d'obra o un tall en el subministrament energètic.

Així doncs el temps exigit serà la suma dels temps de bon funcionament més els temps d'aturada per les causes que siguin més els temps d'aturada degut al manteniment.

$$TE = \sum TBF + \sum TAF + \sum TAM$$

**Indicador de disponibilitat**

$$D = \frac{TE - \sum TA}{TE}$$

## 5.2. METODOLOGIA DEL MANTENIMENT

El responsable del manteniment ha de ser capaç de seguir les següents accions:

- **Observar**
- **Analitzar**
- **Comunicar**
- **Determinar accions prioritàries.**

**1. Observació:** significa l'estudi detallat d'un esdeveniment. Es tracta d'observar una cosa sense jutjar-la, sense eliminar-ne res a priori, fins i tot allò que sembla independent del fenomen observat. A continuació caldrà prendre notes de l'observació, del color, de l'olor, fer-hi croquis, esquemes, fotos i prendre mesures tant de les dimensions com dels paràmetres físics.

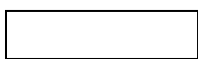
**2. Anàlisi:** que significa descompondre un conjunt més o menys complex en elements el més simples possibles. Es pot fer diferents tipus d'anàlisi:

- **anàlisi de costos:** que permeten al responsable de manteniment decidir sobre la viabilitat de la reparació
- **anàlisi de temps:** que possibilitarà que es tingui un coneixement més aprofundit de la durada de les properes reparacions.
- **anàlisi morfològic:** que permet agrupar les peces d'origens diferents però de forma i funció semblants.
- **anàlisi de procés:** que posa en evidència les fases successives d'un procés i permet millorar-les.
- **anàlisi de valor:** que fa possible la millora de la concepció del producte.
- **anàlisi de fallades:** que posa de manifest l'estat del parc de màquines i el seu comportament.

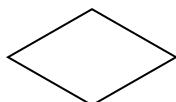
### Diagrames de decisió binària

Per fer una anàlisi se sol fer servir un diagrama de tipus arbre com per exemple els **diagrames de decisió binària**. En el manteniment aquest tipus de diagrames se solen fer servir en els tests que ajuden a donar un diagnòstic. Consisteix a incloure dins d'un rectangle l'acció a realitzar i dins d'un rombe aquelles preguntes que ens hem de fer. El resultat de la pregunta ha de ser binari (si o no, correcte o fals). Cada una de les dues opcions ens condueix a una part diferent del diagrama. Els rectangles i els rombes s'uneixen mitjançant fletxes que indiquen el camí que s'ha de seguir per arribar al diagnòstic.

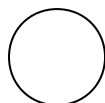
Símbols:



Acció a realitzar



qüestió de resposta binària (si-no, bo-dolent)



Fi del diagrama

## ACTIVITAT

1. Fes un diagrama de decisió binària en l'arranjament d'un disc d'una mola. Se sap que primer s'ha de verificar l'equilibri. Si és correcte aleshores caldrà desmuntar el carter i veure l'estat de la mola. En canvi si no és correcte aleshores caldrà diamantar la mola i després fer-hi un assaig. Si l'assaig és bo haurem acabat, però si es dolent aleshores haurem d'anar a desmuntar el carter i comprovar el seu estat.

2. Fes un diagrama de decisió binària que permeti eliminar el soroll d'un sintonitzador. Se sap que primer cal desconnectar el sintonitzador. Després ens preguntarem si encara hi ha soroll. Si ja ha desaparegut aleshores canviarem el cable de connexió del sintonitzador a l'amplificador i connectarem els dos aparells donant per acabat el procés. Si aquest persisteix ens preguntarem si la presa de terra està ben connectada. Si és que si desconnectarem la presa de terra. Si resulta que no, aleshores connectarem la presa de terra i tant en un cas com en l'altre ens preguntarem si hi ha soroll. Si la presa de terra està desconnectada i persisteix el soroll aleshores haurem de portar la unitat a revisió. En canvi si el soroll ha desaparegut aleshores ja podrem connectar el sintonitzador a l'amplificador. D'altra banda si la presa de terra està connectada i persisteix el soroll aleshores desconnectarem la presa de terra i seguirem el procés abans esmentat i si el soroll ha desaparegut aleshores connectarem el sintonitzador a l'amplificador.

**3. Comunicació:** significa la manera de poder transmetre la informació, les decisions i les accions. Equival al sistema nerviós del ésser humà que uneix la ma i el cervell.

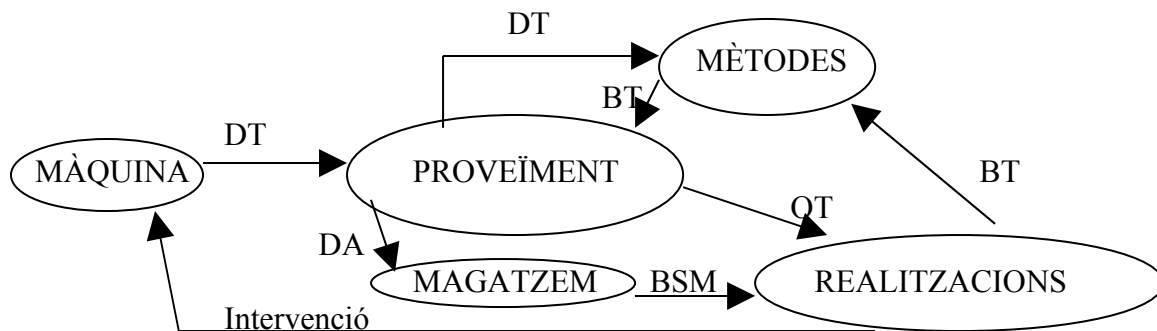
La comunicació es pot fer de manera oral, de manera escrita o de forma gràfica. Però sigui quina sigui la forma escollida cal registrar-ho en uns impresos.

Els impresos permeten delimitar la responsabilitat, evitar oblit o interpretacions diverses, com se sol donar en la comunicació oral, i es poden emmagatzemar.

Els impresos han d'estar adaptats a l'empresa i han de ser els mínims per a permetre el flux d'informació. També, han d'indicar quina és la informació a anotar i on anirà a parar. Han de ser, doncs, lògics, clars, llegibles i precisos.

En el manteniment correctiu, des que es produeix la fallada, la comunicació pot establir-se com s'indica a continuació utilitzant tres documents: la demanda de treball (DT), l'ordre de treball (OT) i el bo de treball (BT). També es poden utilitzar dos documents més: la demanda d'aprovisionament (DA) i el bo de sortida del magatzem (BSM).

Suposen un servei de manteniment format per tres departaments: Mètodes, Proveïment i Realitzacions. Quan el servei de producció detecta la fallada envia un DT a Proveïment el qual el remet a l'oficina de Mètodes i envia una OT a Realitzacions. De Realitzacions surt l'equip que va a reparar la màquina i s'envia un BT a l'oficina de Mètodes. Aquesta envia el BT a Proveïment el qual envia una DA al magatzem i aquest fa arribar a Realitzacions el material necessari amb un BSM.





**4. Determinació de les accions prioritàries:** consisteix a separar del conjunt d'informacions el que és realment important. Hi ha diverses eines útils per a aquest fi: les matrius de criticitat i els diagrames de Pareto, també coneguts com les corbes ABC

#### **Mètode ABC**

És un mètode d'elecció del problema prioritari entre un conjunt de diversos problemes. Es basa en els treballs de Vilfredo Pareto (1848-1923), economista italià nascut a París, qui en estudiar el repartiment dels impostos sobre el patrimoni als EEUU es va adonar que el 15% dels contribuents pagaven el 85% del total. Aquest principi es coneix com llei de Pareto: **la majoria dels efectes procedeixen de poques causes**. La finalitat del diagrama de Pareto consisteix a localitzar aquestes causes.

Pel que fa al manteniment aquest mètode servirà per determinar quines són les avaries que pel seu cost o per la seva freqüència són les que cal donar prioritat.

#### **Procediment:**

1. Determinar amb precisió quines són les categories a representar en el gràfic. En el cas del manteniment aquestes seran el nombre, la durada o el cost de les intervencions, el nombre d'avaries, la durada de la no disponibilitat, entre d'altres.
2. Cal precisar molt bé per a quin període de temps es realitza aquest anàlisi.
3. Cal disposar o calcular les freqüències relatives a cada categoria.
4. Dibuixar els eixos: un horitzontal on situarem les categories i els dos verticals. El vertical esquerra representarem les freqüències absolutes i en el vertical dreta les freqüències acumulades amb percentatge. Aquest eix es graduarà de 0 a 100 des de l'origen fins al valor màxim de la freqüència absoluta.
5. Per omplir el gràfic cal començar per l'ordre de treball de major freqüència. L'anotem en l'eix horitzontal i a sobre hi situem una barra d'alçada igual a la freqüència. I seguim amb les altres ordres de treball en funció de la seva importància.
6. Dibuixar la línia poligonal amb les dades del percentatge acumulat. El primer tram de polígon anirà des de l'origen a l'extrem dret superior de la columna de barres. A partir d'aquí se situarà el tram següent.

#### **ACTIVITAT**

1. Hem analitzat el funcionament d'una màquina recollint durant un any la informació sobre els temps d'aturada per avaria. Aquest treball s'ha fet analitzant les ordres de treball (OT) emeses pel departament de proveïment. El resultat el recull la taula següent:

Ordre de treball núm.	Temps d'aturada (hores)
1	5
2	12
3	17
4	13
5	19
6	25
7	30
8	45
9	8

Fes un diagrama de Pareto i digués quines ordres de treball són les que han comportat major temps d'aturada de la màquina.

2. Hem analitzat el funcionament d'una màquina recollint durant un any la informació sobre el cost de les avaries. Aquest treball s'ha fet analitzant les ordres de treball (OT) emeses pel departament de proveïment i completant la informació amb el cost de la reparació. El resultat el recull la taula següent:

Ordre de treball núm.	Cost de reparació Euros
1	47
2	356
3	224
4	54
5	25
6	33
7	95
8	45
9	15

Fes un diagrama de Pareto i digués quines ordres de treball són les que han comportat major temps d'aturada de la màquina.

3. Hem analitzat el funcionament d'una màquina recollint durant un any la informació sobre els temps d'aturada per avaria. Aquest treball s'ha fet analitzant les ordres de treball (OT) emeses pel departament de proveïment. El resultat el recull la taula següent:

Ordre de treball núm.	Temps d'aturada (hores)
1	25
2	15
3	19
4	33
5	24
6	99
7	35
8	88
9	9

Fes un diagrama de Pareto i digués quines ordres de treball són les que han comportat major cost de reparació de la màquina.

4. Hem analitzat el funcionament d'una màquina recollint durant un any la informació sobre el cost de les avaries. Aquest treball s'ha fet analitzant les ordres de treball (OT) emeses pel departament de proveïment i completant la informació amb el cost de la reparació. El resultat el recull la taula següent:

Ordre de treball núm.	Cost de reparació Euros
1	347
2	235
3	112
4	115
5	224
6	105
7	435
8	99
9	33

Fes un diagrama de Pareto i digués quines ordres de treball són les que han comportat major cost de reparació de la màquina.

### 5.3. EL MANTENIMENT CORRECTIU

**Manteniment correctiu:** És el manteniment que es posa en pràctica després d'haver-se produït la fallada. Consisteix en un seguit d'accions que consisteixen a: a) localitzar la fallada i establir-ne el seu diagnòstic, b) reparar-la amb modificacions o sense, c) i després, controlar del bon funcionament. Hi ha dos tipus de manteniment correctiu: pal·liatiu i curatiu.

- **Manteniment correctiu pal·liatiu:** És el manteniment que es fa perquè se solucioni provisionalment una fallada. Se sol dir que s'ha fet un *arranjament*. Tanmateix el seu caire provisional obliga a que posteriorment s'hagin de prendre accions de tipus més definitiu.
- **Manteniment correctiu curatiu:** És el manteniment que es fa quan es vol solucionar definitivament una fallada. Aleshores se sol parlar de *reparació*.

#### Formes del manteniment correctiu

**1. El manteniment de catàstrofe:** és el que es caracteritza per no fer res fins que es produeix la fallada. És el manteniment del bomber que no fa res fins que hi ha fum. En aquest tipus de manteniment el personal està esperant la fallada. Això implica que la seva càrrega de treball sigui molt irregular. Un cop detectada i valorada la fallada es prepara el treball en la mesura que la urgència ho permeti.

Aquesta forma d'aplicació del manteniment correctiu se sol utilitzar en aquells processos on les despeses de la fallada no són massa grans i els requeriments de seguretat són baixos. També sol ser útil en aquelles empreses on una aturada de les màquines no ocasionen situacions crítiques a la producció o en aquelles indústries en les quals se solen renovar les maquinàries freqüentment.

**2. De complement residual del manteniment preventiu:** El manteniment correctiu se sol aplicar també en els casos en què hi ha alguna manera de manteniment preventiu ja que la prevenció no implica que no pugui haver fallades. El fet és que quan la fallada arriba, sigui prevista o fortuïta, cal donar-hi resposta enviant-hi un equip per arreglar o reparar la fallada. És a dir cal dur a terme un manteniment correctiu. Tanmateix el nivell escollit de manteniment preventiu permetrà reduir en major o menor mesura les despeses del manteniment correctiu.

#### 3. La evolució del manteniment correctiu

En l'actualitat el manteniment correctiu va més enllà de la reparació ja que en molts casos analitza les causes de la fallada i tracta de buscar millores per tal d'evitar que aquesta es torni a repetir. Per dur a terme aquesta nova visió del manteniment correctiu cal registrar la intervenció perquè pugui ser aprofitada amb posterioritat.

Per exemple en la fallada d'un rodament de boles el que feia el manteniment correctiu tradicional era canviar-lo. Ara, en canvi, es busca quina ha estat la causa de la seva fallada i es mesura la freqüència. Després es detecten les maneres d'evitar la reaparició com per exemple establint revisions sobre el muntatge, sobre la lubrificació o sobre les

sobrecàrregues. També s'estableixen anàlisis de l'estat del rodament mitjançant un anàlisi de les vibracions.

**Cost de fallada d'un equipament:** és la suma de dos costos. El primer representa la despesa necessària per a fer l'arranjament o la reparació i s'anomena cost de manteniment correctiu (CMC). El segon es refereix a la despesa ocasionada en la manca de producció deguda a la fallada de l'equipament i es coneix amb el nom de cost de falta de disponibilitat (CFD).

El cost de manteniment correctiu (CMC) és en moltes ocasions superior al que es tindria si s'apliqués unes accions preventives i s'incrementa en la mesura que la fallada pugui produir deteriorament d'altres elements diferents dels que pròpiament l'han causada fins a arribar a l'extrem de destrucció de tot l'equip complet. L'exemple més clar és el de l'incendi d'un bosc degut a un accident d'un mitjà de transport.

El cost de falta de disponibilitat ocasiona a l'empresa unes pèrdues per manca o reducció de la producció. Pot comportar-li penalitzacions per endarreriments o pot produir-li costos suplementaris per pal·liar la falta de disponibilitat, com hores extres, encàrrecs exteriors o lloguers de màquines.

### **Minimització dels costos**

Es possible l'establiment d'una organització òptima del manteniment correctiu que minimitzi els costos derivats de les fallades.

Llevat del cas de repercussions catastròfiques, el cost de falta de disponibilitat augmenta amb la durada i depèn d'una sèrie de factors directament relacionats amb les següents fases:

- a) detecció de l'avaría
- b) transmissió de la informació
- c) avís a l'equip d'intervenció
- d) diagnòstic
- e) disponibilitat de recanvis
- f) la reparació
- g) el control de la reparació
- h) la represa del servei

La rapidesa en el diagnòstic de l'avaría és un factor determinant per la disminució dels temps i en conseqüència dels costos. Això vol dir que és fonamental per a reduir els costos disposar de personal format i d'instrument d'ajuda al diagnòstic.

El grau de preparació de la intervenció de manteniment correctiu pot ajudar a la reducció dels costos. Aquest grau té diferents nivells que estan lligats a les accions que es poden prendre per reduir els costos de falta de disponibilitat i que són del tipus següent:

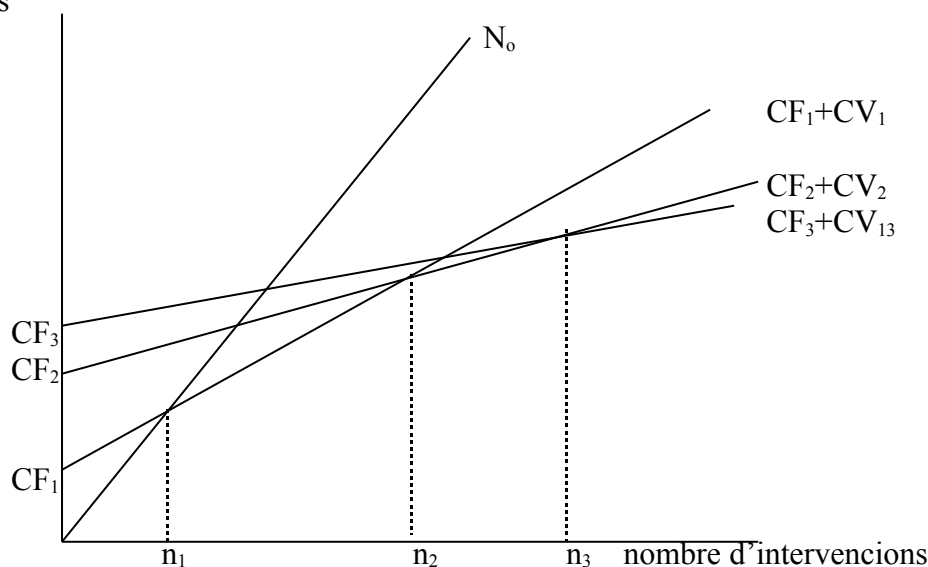
- a) Els mètodes de detecció
- b) Els sistemes de transmissió de la informació
- c) El transport dels equips d'intervenció
- d) La formació dels equips en la detecció i en la reparació
- e) L'establiment de procediments de diagnòstic.
- f) L'adquisició d'equipament de detecció de diagnòstic
- g) La disposició ràpida dels recanvis.

Si designem els nivells creixents de preparació del manteniment correctiu per  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ . Cada un d'aquests nivells tindrà un cost fix  $CF_1$ ,  $CF_2$ ,  $CF_3$  que anirà incrementant-se quan es passi d'un nivell a un altre superior i un cost variable  $CV_1$ ,  $CV_2$ ,  $CV_3$  que

creixerà linealment amb el nombre d'intervencions però que anirà disminuint a mesura que s'augmenti el nivells de preparació. La representació dels costos relatius a aquest diferents nivells segons el nombre de intervencions donarà lloc a una línia poligonal en la qual es podrà fixar el nombre d'intervencions a partir del qual és recomanable canviar de nivell de preparació.

Així doncs, podrem esbrinar per a un nombre d'intervencions  $I$  quin és el nivell de preparació que ocasionarà el cost global més reduït.

Costos globals



#### ACTIVITAT

1. En una empresa de fabricació de màquines frigorífiques s'està estudiant d'establir algun sistema de manteniment correctiu que tingui en compte alguns nivells de preparació per tal de minimitzar les despeses produïdes per la falta de disponibilitat de determinats equipaments. Se sap que si s'escull no tenir en compte cap tipus de preparació (nivell 0) aleshores els costos globals en milers d'euros seran iguals al nombre d'intervencions realitzades. Si s'escull un primer nivell de preparació consistent en establir mètodes de detecció i de desplaçament. Aleshores la part fixa dels costos globals és de 4.000 euros mentre que la part variable es redueix en un terç del nombre d'intervencions. Finalment, si s'escull un segon nivell de preparació consistent en uns cursos de formació i en l'adquisició d'equipaments de detecció, aleshores els costos fixos són de 6.000 euros mentre que els costos variables es redueixen a una setena part. Quin serà el nivell més adient si es vol que el nombre de fallades no superi les 10? I si es preveu que hi hagi unes 25 fallades?

2. En una empresa de fabricació de vàlvules s'està estudiant d'establir algun sistema de manteniment correctiu que tingui en compte alguns nivells de preparació per tal de minimitzar les despeses produïdes per la falta de disponibilitat de determinats equipaments. Se sap que si s'escull no tenir en compte cap tipus de preparació (nivell 0) aleshores els costos globals en milers d'euros seran iguals al doble del nombre d'intervencions realitzades. Si s'escull un primer nivell de preparació consistent en establir mètodes de detecció i de desplaçament. Aleshores la part fixa dels costos globals és de 10.000 euros mentre que la part variable es redueix a dos terços del nombre d'intervencions. Finalment, si s'escull un segon nivell de preparació consistent en uns cursos de formació i en l'adquisició d'equipaments de detecció, aleshores els

costos fixos són de 15.000 euros mentre que els costos variables es redueixen a dos setenes part. Quin serà el nivell més adient si es vol que el nombre de fallades no superi les 5? I si es preveu que hi hagi unes 15 fallades?

#### 5.4. ELS MANTENIMENTS PREVENTIUS

**Manteniment preventiu:** És el manteniment que es fa amb la intenció de reduir la probabilitat de fallada o deteriorament d'un bé. És divideix en tres tipus: condicional, sistemàtic i previsor.

- **Manteniment preventiu condicional:** És un manteniment que s'efectua quan se supera un determinat llindar que s'ha preestablert amb antelació i que és indicatiu del deteriorament d'un producte o servei.
- **Manteniment preventiu sistemàtic:** És un manteniment que s'efectua segons un programa establert prèviament en funció del temps o del nombre d'unitats d'us.
- **Manteniment preventiu previsor:** És el manteniment que es duu a terme en funció dels resultats obtinguts en l'anàlisi d'uns paràmetres que són significatius del deteriorament del producte. Aquests resultats poden avançar, endarrerir o planificar les actuacions.

**El manteniment preventiu** és aquell manteniment que es fa de manera prevista, preparada i programada amb anterioritat a la data probable d'aparició de la fallada. Això vol dir que s'ha de saber en quin moment ha d'arribar l'avaría. Aleshores, un poc abans caldrà procedir a la intervenció preventiva. Val a dir que la existència d'un manteniment preventiu no estalvia que pugui haver fallades residuals de caràcter aleatori.

El manteniment preventiu és necessari ja que amb la seva implantació **es redueixen les fallades del servei i els costos** d'aquestes fallades. Com a conseqüència d'això els equipaments tenen una vida més llarga.

Des del punt de vista d'organització del treball, el manteniment preventiu **permet una millor distribució i ordenació de les càrregues de treball**. És a dir que si se sap amb antelació quan es produirà la fallada i quan s'ha de procedir a la reparació es pot organitzar millor la producció a fi efecte de minimitzar l'aturada.

Finalment, el manteniment preventiu permet una **major garantia de la seguretat** en el treball ja que evita les improvisacions que sempre són confluència de perills.

#### **Mètodes del manteniment preventiu**

Per dur a terme un manteniment preventiu cal crear un servei de mètodes de manteniment que es dedicarà a elaborar documentació de les dades de funcionament dels equipaments: dossiers de les màquines, dades històriques sobre el seu funcionament. Aquest servei també haurà de fer anàlisis tècniques sobre el comportament dels materials i haurà de preparar les intervencions de comú acord amb el departament de producció.

**1. Visites preventives.** En una primera fase, el manteniment preventiu pot consistir en unes visites preventives periòdiques amb un triple objectiu:

- a) vigilar l'estat del material en servei.
- b) fer un registre de dades que permetin detectar les lleis de degradació.
- c) En funció d'aquestes dades s'haurà de preparar les intervencions preventives.

Les visites preventives han de permetre elaborar un histograma de les avaries en funció del temps. Si el nombre de dades és prou gran, aquesta gràfica serà similar a una campana de Gauss i es podrà ser analitzada com una distribució de probabilitat Normal.

En aquest anàlisi hi haurà dos factors que caldrà tenir en compte. Primerament, la mitjana de la distribució que també es coneix amb el nom de **temps mitjà de bon funcionament** (MTBF) i que és la mitjana dels temps transcorreguts entre aturades. En segon lloc, la desviació típica que és la que ens permetrà establir el moment de la intervenció en funció del percentatge d'avaries que estem disposats a admetre que succeeixin abans de la intervenció.

**2. Vigilàncies sistemàtiques.** En una segona fase, quan es conegui el comportament de les màquines o dels serveis, aleshores s'evolucionarà cap a un manteniment sistemàtic que pot variar des d'un **manteniment de ronda**, basat en unes visites sistemàtiques i freqüents i amb intervencions lleugeres, a un **manteniment condicional** que consistirà a sotmetre el material a una vigilància continuada.

#### ACTIVITAT

1. En una empresa de fabricació de peces tornejades es vol establir un manteniment preventiu sobre una determinada màquina. El resultat de les visites preventives dutes a terme durant un mes ha donat uns valors que hem representat en un histograma. Aquesta gràfica, que s'assembla a una campana de Gauss, té una mitjana de 17 dies i una desviació típica de 1,05. Si estem disposats a admetre un percentatge d'avaría anterior a la intervenció del 3%. Quin dia del mes haurem de procedir a la intervenció?

- Per resoldre aquest exercici cal que estableixis la distribució normal:  $N(\bar{x}, \sigma)$  en la que  $\bar{x}$  = MTBF (temps mitjà de bon funcionament) i  $\sigma$  = desviació típica.
- El valor del 3% representa la probabilitat d'una avaría que estem disposat a acceptar. Caldrà saber per a quin valor de  $x$  (que en aquest cas és temps) hi ha aquesta probabilitat.

$$P(X=x) = 0,03$$

- Per a resoldre això recorrerem a la taula de la llei normal i buscarem quin valor  $Z$  de la variable tipificada té una probabilitat de funcionament correcte de  $1-0,03 = 0,97$ .
- A continuació, caldrà que destipifiquem aquest valor de la variable utilitzant l'expressió següent que té en compte que el valor que ens interessa és el simètric  $-z_i$

$$-z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad \text{és a dir} \quad x_i = -z_i \sigma + \bar{x}$$

- El valor de  $x_i$  és el valor de la variable correspon al dia en què s'haurà d'iniciar la intervenció preventiva serà

2. En una empresa de fabricació de circuits integrats es vol establir un manteniment preventiu sobre una determinada màquina. El resultat de les visites preventives dutes a terme durant un mes ha donat com a resultat uns valors que hem representat en un histograma. Aquesta gràfica, que s'assembla a una campana de Gauss, té una mitjana de 24 dies i una desviació típica de 0,05. Si estem disposats a admetre un percentatge d'avaría anterior a la intervenció del 4%. Quin dia del mes haurem de procedir a la intervenció? I si la desviació típica fos de 4,03? En quin cas creus que seria rendible dur a terme un manteniment preventiu?

3. En una empresa de fabricació de motlles es vol establir un manteniment preventiu sobre una determinada màquina. El resultat de les visites preventives dutes a terme durant un mes ha donat com a resultat uns valors que hem representat en un histograma. Aquesta gràfica, que s'assembla a una campana de Gauss, té una mitjana de 15 dies i

una desviació tipus de 0,85. Si estem disposats a admetre un percentatge d'avaría anteriors a la intervenció del 10%. Quin dia del mes haurem de procedir a la intervenció?

### **El manteniment sistemàtic**

És el manteniment preventiu que es fa en base a un pla establert prèviament en funció del temps o del nombre d'unitats fabricades.

Aquest tipus de manteniment permet dur a terme tant els controls legals que estableixin les reglamentacions com altres controls de caire periòdic del tipus següent:

- a) Neteja freqüent dels equipaments que elimina la brutícia i permet detectar amb més facilitat les avaries.
- b) Lubrificació i greixatge dels elements mecànics que evita o retarda el desgast i redueix les pèrdues d'energia.
- c) Inspeccions sistemàtiques per a fer ajustaments, prémer cargols o fer petites intervencions.
- d) Revisions sistemàtiques que incloguin la substitució de certs elements.
- e) Altres treballs periòdics de neteja de filtres en conductes, de protecció de la corrosió, etc.

### **Avantatges del manteniment sistemàtic:**

Aquest tipus de manteniment preventiu permet **evitar el deteriorament** de molts components i així reduir el cost de reparació. També **disminueix el risc d'avaries** i en conseqüència també **redueix el cost de manca de disponibilitat** dels equipaments. Finalment direm que **incrementa la seguretat de persones i bens** ja que disminueix la probabilitat d'accidents.

### **Condicions per la posada en marxa d'un manteniment sistemàtic:**

Primerament cal conèixer de manera prèvia el comportament dels equipaments en funció del temps.

Primerament es posen en marxa unes intervencions periòdiques seguint les instruccions del fabricant de l'equipament. Es determina la periodicitat d'intervenció T.

Més tard, les dades recollides de les visites preventives permeten corregir aquest període T i optimitzar-lo des d'un punt de vista econòmic.

**Períodes d'intervenció sistemàtica:** Són uns intervals de temps que permeten establir un pla d'actuació. Hi ha dos tipus:

- a) **temps absolut:** És aquell que es fixa respecte al temps del calendari. P. ex. revisions sistemàtiques cada tres mesos.
- b) **temps relatiu:** És el que s'estableix en funció de les unitats d'ús. P. ex. fer un buidat cada 10.000 km. i un greixatge cada 500 hores d'ús.

El temps absolut se sol utilitzar quan la màquina té un funcionament molt regular. Aleshores l'ús del temps de calendari facilita la programació. En els altres casos es fa servir el temps relatiu.

### **Formes de manteniment sistemàtic:**

El manteniment sistemàtic pot ser vigilat o absolut:

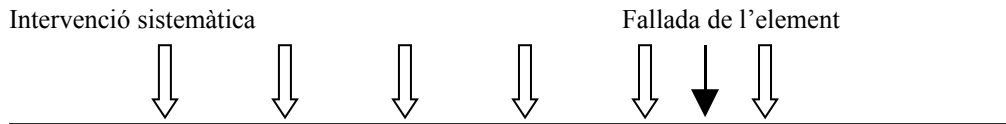
- a) **manteniment sistemàtic absolut** és aquell en què entre dues intervencions programades no se'n fa cap altra inspecció.



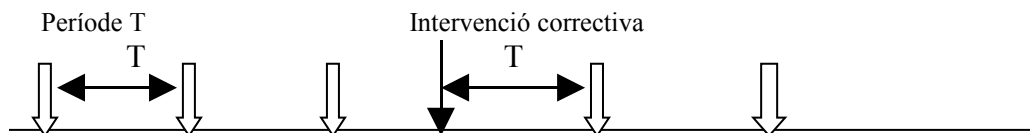
- b) **manteniment sistemàtic vigilat** és aquell en què a més de les intervencions programades s'estableixen inspeccions periòdiques per tal de controlar possibles variacions de l'estat desitjat.

El manteniment sistemàtic pot ser de gestió col·lectiva o de gestió individual:

- a) **manteniment sistemàtic de gestió col·lectiva**: Correspon a la idea de sistemes no reparables. En cas de fallada d'algun component no es fa cap intervenció fins el moment de la intervenció sistemàtica.



- b) **manteniment sistemàtic de gestió individual**: Correspon a la noció de sistemes reparables. En cas de fallada es fa una intervenció correctiva i a partir de la qual es comença a comptar un nou període preventiu.



### Determinació del període d'intervenció

El període d'intervenció sistemàtica  $T$  és un valor menor que el temps mitjà de bon funcionament MTBF. És a dir cal corregir el MTBF multiplicant-lo per una constant  $k$  inferior a la unitat:

$$T = k \cdot \text{MTBF}$$

El valor de  $k$  que s'anomena **nivell preventiu** està comprès entre  $0,5 \leq k \leq 1$ . Quan més petit sigui aquest valor menys avaries hi haurà i conseqüentment menys costos de fallades fortuïtes. Però serà major les despeses directes com ma d'obra, recanvis i hi haurà un malbaratament potencial

Per a la determinació del període  $T$  es poden presentar dos casos:

- que es conegui a la perfecció quina és la llei de degradació de l'equipament. Aleshores es podrà establir el MTBF que marcarà el límit del bon funcionament i el nivell preventiu que servirà de marge de seguretat.
- que no es conegui la llei de degradació sinó que solament es disposi d'unes dades d'observació que permetin afirmar que l'aparició d'avaries es comporta com una llei normal.

L'estudi d'aquesta funció posa de manifest que si designem per  $\bar{x}$  la mitjana i per  $\sigma$  la desviació típica és compleix que per als intervals:

- $(\bar{x} - \sigma, \bar{x} + \sigma)$  la població afectada per l'estudi representa el 68 %.
- $(\bar{x} - 2\sigma, \bar{x} + 2\sigma)$  la població afectada per l'estudi representa el 95 %
- $(\bar{x} - 3\sigma, \bar{x} + 3\sigma)$  la població afectada per l'estudi representa el 99 %

En aquest cas  $\bar{x}$  serà el temps mig de bon funcionament MTBF.

La llei normal permet esbrinar quina serà la probabilitat de que hi hagi una avaria en un determinat dia o abans d'un dia determinat.

En conseqüència un criteri habitual per escollir el període d'intervenció és el següent:

$T = \bar{x} - \sigma = \text{MTBF} - \sigma$  això vol dir que escollim el valor de k escollit és

$$T = \text{MTBF} - \sigma = k \cdot \text{MTBF}$$
$$k = \frac{\text{MTBF} - \sigma}{\text{MTBF}}$$

En aquests casos la probabilitat que hi hagi una avaria abans de la intervenció T és de un 16%.

#### ACTIVITAT

1. En una empresa de fabricació de conductes per aire condicionat es vol establir un manteniment sistemàtic en un conjunt de màquines eines. Després d'un procés de recollida de dades de diversos mesos s'ha arribat a la conclusió que la mitjana de temps de bon funcionament MTBF és de 3500 hores i que la desviació típica és de 500. Quin seria el valor del període T d'intervenció i el valor del nivell preventiu si estem disposats a acceptar una probabilitat d'error del 16%.

2. En una empresa de fabricació de vàlvules es vol establir un manteniment sistemàtic en un conjunt de màquines. Després d'un procés de recollida de dades de diversos mesos s'ha arribat a la conclusió que la mitjana de temps de bon funcionament MTBF és de 45 hores i que la desviació típica és de 15. Quin seria el valor del període T d'intervenció i el valor del nivell preventiu si estem disposats a acceptar una probabilitat d'error del 16%.

3. En una empresa d'aparells d'aire condicionat es vol establir un manteniment sistemàtic en un conjunt de processos. Després d'un període de recollida de dades de diversos mesos s'ha arribat a la conclusió que la mitjana de temps de bon funcionament MTBF és de 4730 hores i que la desviació típica és de 640. Quin seria el valor del període T d'intervenció i el valor del nivell preventiu si estem disposats a acceptar una probabilitat d'error del 2,5%.

4. En una empresa de fabricació d'evaporadors i compressors es vol establir un manteniment sistemàtic en un conjunt de màquines. Després d'un procés de recollida de dades de diversos mesos s'ha arribat a la conclusió que la mitjana de temps de bon funcionament MTBF és de 5479 hores i que la desviació típica és de 557. Quin seria el valor del període T d'intervenció i el valor del nivell preventiu si estem disposats a acceptar una probabilitat d'error del 0,5%.

5. Si en el cas de l'exercici 3 la probabilitat d'error que estem disposats a acceptar fos del 1,5% de quina manera creus que es podria determinar el període T de intervenció sistemàtica i el valor de k?

6. Si en el cas de l'exercici 4 la probabilitat d'error que estem disposats a acceptar fos del 0,25% de quina manera creus que es podria determinar el període T de intervenció sistemàtica i el valor de k? Seria rendible?

### **El manteniment de ronda**

Aquest tipus de manteniment sistemàtic consisteix en la realització de vigilàncies regulars sobre el material mitjançant unes rondes de curta freqüència en les quals es duen a terme, si cal, petits treballs.

També se'l coneix com manteniment de vigilància o de rutina. Tanmateix, és un manteniment tant tradicional que AENOR no el té en consideració.

L'objectiu del manteniment de ronda és assegurar una vigilància quotidiana dels equipaments per tal d'evitar tant les fallades menors com les fallades majors.

Les rondes comprenen:

- a) lubricació
- b) controls de pressió, temperatura, vibracions, etc.
- c) exàmens sensorials com la detecció visual de fugues o els sorolls anormals.
- d) tests, per tal de comparar el resultat amb un de referència.
- e) treballs menors com el reglatge, el canvi de làmpades etc.

El manteniment de ronda ha sofert una evolució cap a dos camins: el telemanteniment i la integració a la producció.

**1. El telemanteniment:** Consisteix a substituir les tradicionals rondes per la col·locació de detectors connectats a una central de vigilància. Aquesta tècnica comporta una inversió inicial elevada però redueix les despeses en personal i garanteix millor la seguretat. A més des de la central de vigilància no sols es pot vigilar que no hi hagi avaries sinó que també permet controlar tot el procés.

En detectar-se l'anomalia, l'agent de vigilància té la responsabilitat de posar fora de servei la part afectada, reconfigurar el procés i avisar al servei de reparacions.

**2. La integració a la producció:** Consisteix a responsabilitzar de la vigilància i del manteniment inicial a l'operari que utilitza la màquina. Això comporta una formació específica i que el treballador assumeixi aquesta responsabilitat. Se sol aplicar al Japó en el Total Productive Maintenance (TPM)

### **El manteniment condicional**

És un tipus de manteniment preventiu que es duu a terme quan se supera un determinat llindar prèviament establert i que indica que l'equipament o l'objecte s'ha deteriorat.

El van començar a posar en pràctica les companyies aèries americanes degut a que el muntatge i desmuntatge de determinats equipaments comportava un risc d'avaría suplementària. Aleshores van decidir determinar l'estat dels equipaments abans de desmuntar-los.

Així doncs la decisió d'intervenir es pren quan hi ha evidència experimental de fallada o una certa aproximació a un nivell predeterminat de degradació.

**Condicions per a la seva aplicació:** En primer lloc cal que el material permeti l'aplicació d'aquest tipus de manteniment. Això vol dir que hi hagi degradació progressiva i que aquesta es pugui detectar. Aleshores caldrà **triar els paràmetres de mesura** i trobar la correlació entre els paràmetres de mesura i l'estat de l'equipament.

Els paràmetres habituals són:

- a) paràmetres físics (pressió, temperatura, cabals, etc.).
- b) nivells de vibracions i soroll (decibels, velocitat eficaç, etc.)
- c) freqüència de vibracions.

- d) contingut de residus de desgast (anàlisi de lubricants per conèixer l'estat dels motors).

Un cop triats els paràmetres cal **establir un llindar d'admissibilitat** més enllà del qual s'hagi d'aturar el funcionament. Així, doncs segons el temps de reacció i la velocitat de degradació s'establirà una senyal d'alarma una mica abans d'arribar al límit d'admissibilitat.

La posada en marxa de les accions de manteniment condicional comporta que hi hagi una **recollida de dades centralitzada** i que hi hagi personal qualificat per a fer el seguiment de tota la instal·lació i **decidir si s'ha de fer una intervenció** immediata o aquesta es pot aplaçar.

**Formes d'aplicació:** Hi ha quatre maneres de dur a terme el manteniment condicional atenent a l'interval entre dues mesures.

- a) **Forma estricta:** També es coneix com **seguiment continuat** i consisteix en la instal·lació en les màquines de detectors fixos que funcionin permanent. Aquests detectors poden estar units a una xarxa de mesura que permeti obtenir una senyal d'alarma, un registre dels paràmetres o fins i tot l'aturada del procés.
- b) **Forma amplia:** Coneguda com de **vigilància periòdica**, consisteix a dur a terme controls en determinats intervals que venen fixats per la velocitat de degradació estimada. Per exemple fer una extracció mensual d'oli hidràulic d'una màquina per analitzar el seu estat i emetre un diagnòstic de l'estat de la màquina.
- c) **Forma integrada:** També se sol denominar com de **sense vigilància** i sol dur-se a terme quan ja s'ha previst des del moment de la concepció de la màquina. En aquests casos no cal prendre mesures ja que s'ha previst el manteniment condicional des del moment de la concepció incorporant-hi un testimoni.
- d) **Forma particular:** Designada també com manteniment predictiu. Sol utilitzar-se en màquines rotatives i consisteix a instal·lar detectors de soroll i de vibracions a les parts exteriors de la màquina que permeten conèixer l'estat intern de la màquina.

## 5.5. EVOLUCIÓ DEL MANTENIMENT

El manteniment de les màquines ha estat present des del moment que l'home les va inventar. Però, fins a la Revolució Industrial, les màquines basades en l'energia de sang, en l'energia de l'aigua o en l'energia eòlica tenien un manteniment molt senzill.

Amb el desenvolupament industrial dels darrers segles es va veure més necessari potenciar una forma de manteniment simplificada basada en la conservació dels equipaments. Apareixia així un manteniment que tenia com a objectiu arreglar i reparar i que s'assemblava molt al **manteniment corrector** actual.

Posterior amb la incorporació de les operacions de lubricació i greixatge de les màquines va començar a introduir-se una nova orientació similar al **manteniment preventiu**. Les mesures de seguretat dels passatgers sobretot pel que fa a les empreses de transport van contribuir a desenvolupar encara més el manteniment preventiu. Així doncs, les empreses de ferrocarrils van establir controls sistemàtics sobre l'estat de les vies i, posteriorment, les empreses aèries van institucionalitzar les revisions periòdiques dels seus avions.

Aleshores va ser quan es va estendre la màxima “més val prevenir que curar” i es va imposar una conservació preventiva dels equipaments similar al manteniment sistemàtic actual. Es tractava doncs de lligar el deteriorament dels aparells a l'aparició de les avaries i planificar prèviament i de forma sistemàtica les tasques de manteniment.

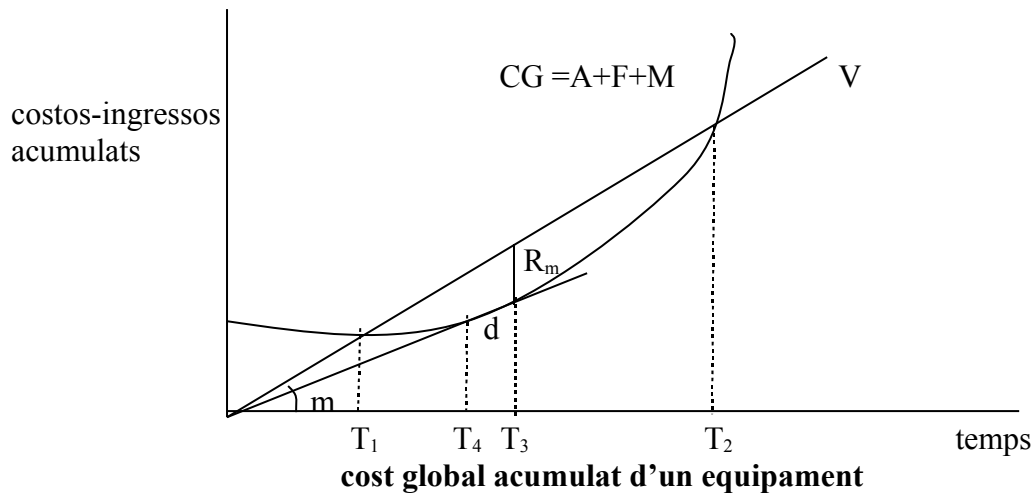
El pas següent va consistir a optimitzar les revisions periòdiques cosa que va conduir a la **substitució preventiva sistemàtica** de les peces el desgast de les quals podia produir despeses indirectes. Inicialment es va ajustar la llei de desgast a una llei normal, tanmateix finalment es va veure que la llei de Weibull s'ajustava millor. El desenvolupament de l'electrònica va mostrar que la substitució preventiva d'aquells components que poden presentar fallades no era convenient ja que podia incrementar els possibles defectes de fabricació. Aquest era el cas del desmuntatge dels equipaments hidràulics dels avions que ocasionava un increment d'avaries degut a la introducció d'impureses en els seus circuits. Fou aleshores quan va començar a aplicar-se el **manteniment condicional**. Es va veure que en alguns casos resultava més beneficiós substituir els elements sensibles al deteriorament el més tard possible. Calia, però, preveure el període en el qual l'evolució del deteriorament quedava dins dels límits acceptables. Actualment, amb el desenvolupament dels mètodes d'assaig i control no destructius i dels instruments de mesura fiables el manteniment condicional ha evolucionat cap a el seguiment informàtic del control, del diagnòstic i de l'alarma.

Actualment el manteniment ha començat a ser considerat en la fase de disseny i selecció dels nous equipaments. Aleshores es parla de **cost global** i en ell s'incorpora una part destinada al manteniment.

**Cost global** és l'import acumulat de tota la vida d'un equipament expressat en monedes constants. Es compon dels costos d'adquisició (A), dels costos de funcionament (F) i dels costos de manteniment (M). Designarem també per V el muntant de la venda de la producció. Així el resultat acumulat de l'explotació al llarg de tota la vida de la màquina serà:

$$R = V - (A + F + M)$$

V es pot representar amb una línia recta a l'igual que F que també pot ser considerat com una recta. En canvi els costos de manteniment (M) augmenten més ràpidament a mesura que el temps passa.



La recta  $V$  talla la corba formada per  $A + F + M$  en dos punts on el valor del resultat de l'exploació és nul. Abans de  $T_1$  i després de  $T_2$  aquest rendiment és negatiu i solament és positiu per a valors del temps compresos entre  $T_1$  i  $T_2$ .

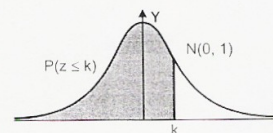
De tots els valors positius de  $R$  hi ha un que és el màxim que té lloc en  $T_3$  i correspon a  $R_m$  i un altre que és el màxim per unitat de temps que correspon al punt  $d$  i que té lloc en  $T_4$ . Tots dos punts han de ser coneguts per la persona que porta el manteniment.

Finalment,  $T_4$  és l'instant en què apareix l'avantatge veritable de substitució dels equipaments per altres idèntics. Aquest valor depèn solament del fet que el cost global mig per unitat de temps sigui mínim. Això vol dir que caldrà conèixer el cost global  $CG$  i el cost global mig per unitat de temps ( $m$ )

# Taula de la normal

## $N(0, 1)$

k	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998
3,5	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998
3,6	0,9998	0,9998	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
3,7	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
3,8	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
3,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



## 6. EL MATERIAL A MANTENIR

El material que ha de ser objecte del manteniment és molt divers i per això cal conèixer-lo amb profunditat. En primer lloc hem de saber quin material hem de mantenir, després haurem de conèixer les característiques d'aquest material i finalment necessitarem saber l'evolució històrica de cada una de les màquines que componen aquest material.

### 6.1. Classificació del parc de material

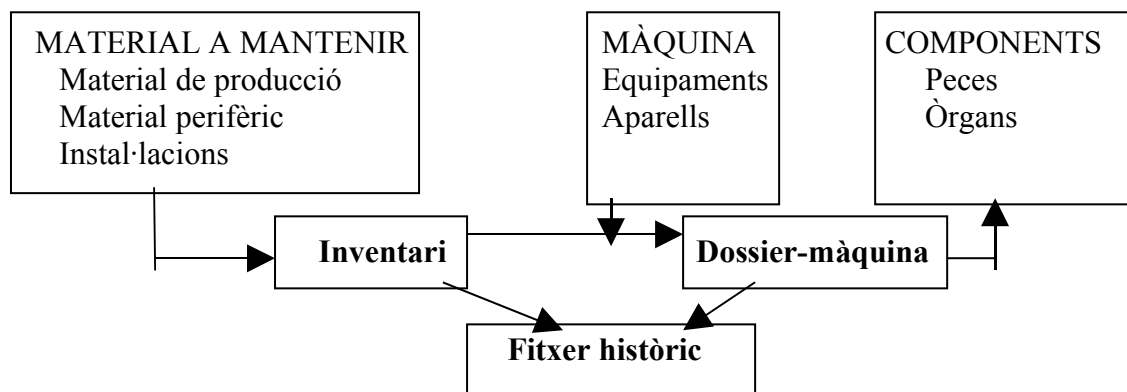
El material es pot classificar en:

- **Equipaments tècnics:**
  - **Material de producció:** Comprèn totes les màquines que es fan servir per la fabricació dels diferents productes o que permeten donar el servei requerit
  - **Material perifèric**
    - **Equipaments:** Comprèn els generadors d'energia, bombes d'alimentació, calderes, compressors d'aire, vehicles, aparells de manutenció, eines equipaments d'emmagatzematge etc.
    - **Distribucions:** Canalitzacions de fluids, xarxes elèctriques, calefacció, climatització, il·luminació, etc.
- **Equipaments generals**
  - **Instal·lacions:** Comprèn els edificis, l'obra civil, material d'oficina, cuines, telèfons, xarxa informàtica, passadissos, tanques, etc.

La classificació del material a mantenir és difícil i complexa per això la millor eina per a poder treballar és disposar d'un inventari del material que permeti distribuir les àrees de responsabilitat i determinar les prioritats.

### 6.2 Coneixement de la màquina

Tot bé que tingui una durada pot ser objecte de manteniment. El primer pas per a realitzar el manteniment d'un equip complex és descompondre'l en conjunts equivalents a una màquina. Aquesta feina es pot fer amb l'inventari del material. Cada una de les màquines es pot descompondre en altres subconjunts de funcions diferents: components, peces, etc. Això es pot fer amb una altra eina: el dossier-màquina. Finalment necessitarem un registre cronològic de fallades i intervencions i per això haurem d'elaborar el fitxer històric de la màquina.



**L'inventari**



És una classificació codificada del parc de màquines existent. Es tracta d'un document difícil i costós d'elaborar, però un cop fet és molt fàcil tenir-lo al dia.

**Divisió funcional arborescent:** La forma habitual de fer un inventari és la de seguir una divisió funcional arborescent que consisteix a consignar les dades següents:

- **Conjunt o unitat:** Per exemple: fàbrica A, fàbrica B, etc..
- **Naturalesa:** Producció, equipaments, distribucions o instal·lacions
- **Localització:** Unitat 1, unitat 2, unitat 3
- **Tipus o família:** Torns, premses, serres, etc.
- **Màquina:** P1, P2, P3, ...

**Codificació:** Es aconsellable que cada un d'aquestes divisions funcionals arborescents tingui assignat un codi de lletres i/o números intentant que els materials que tinguin idèntiques funcions tinguin codis similars. Per exemple és aconsellable que si entre les tres fàbriques d'una empresa hi ha 300 bombes centrífugues, totes elles tinguin un codi comú que permeti la seva identificació.

Des del punt de vista del manteniment pot ser útil agrupar en un mateix codi els conjunts de duració de funcionament semblant és a dir d'aquells aparells que tenen les posades en marxa i les aturades simultànies. Aquestes agrupacions representen línies de manteniment fàcils de gestionar en un tipus de manteniment sistemàtic.

## El dossier-màquina

El dossier-màquina és l'eina que permet el coneixement aprofundit de la màquina, el seu origen, la seva tecnologia i el seu comportament. També se'l coneix com dossier tècnic o dossier de manteniment.

El dossier-màquina compren dues parts:

- a) El **dossier dels constructor** amb tots els documents intercanviats amb el fabricant i els contractes. Aquest apartat conté:
  - Els **documents comercials relatius a la venda:** Petició d'oferta, transport, contractes, certificació d'acceptació, les referències del servei post-venda, les xarxes comercials i els representants locals.
  - Els **documents tècnics subministrats pel constructor:** Característiques de la màquina, llista d'accessoris, nomenclatura de les peces, plànols, esquemes, instruccions d'emplaçament, instruccions de funcionament, i les instruccions de manteniment.
- b) El **fitxer intern de la màquina** actualitzat: Aquesta part l'elaborarà l'oficina de mètodes del nostre servei de manteniment. Inclourà les modificacions realitzades i els canvis que s'han produït en els esquemes de reparació.

És aconsellable que el dossier màquina tingui una forma estàndard i que estigui classificat seguint el codi de l'inventari. El quadre següent mostra un exemple dels apartats que pot tenir un dossier-màquina.

Número màquina	Codi màquina	Índex criticitat
Referència	Títol dels apartats	
00	Sumari.	
01	Contracte de comanda, condicions de garantia, servei post-venda.	
02	Documents de la recepció.	
03	Característiques, fitxa tècnica.	
04	Codificació arborescent, divisió estructural.	
05	Plànols de conjunt, de detall i esquemes.	
06	Instruccions d'instal·lació, de posada en servei.	
07	Instruccions d'ús.	
08	Normes de seguretat.	
09	Instruccions de lubricació.	
10	Instruccions de manteniment.	
11	Llista general de components.	
12	Llista de recanvis de primera urgència.	
13	Plànols i tipus de peces de recanvi,	
14	Planificació de visites preventives	
15	Resultats de les visites preventives.	
16	Tipus d'operacions repetitives.	
17	Llista de fallades possibles previsibles.	
18	Esquemes lògics de diagnòstic i reparació.	
19	Eines específiques d'intervenció	

La quantitat de documents que ha de contenir el dossier màquina fa molt difícil que pugui ser introduït en una base de dades informàtica. El més aconsellable és utilitzar impresos de mida estàndard que puguin arxivar-se en una carpeta d'anelles amb separadors

Com hem dit abans, els dossier màquines es classifiquen segons el número de l'inventari, però és útil incloure un índex de criticitat que és una puntuació de 0 a 20 que indica la importància de la màquina. Aquest índex permet discriminar entre les màquines principals i les secundàries.

### El fitxer històric

És un fitxer relatiu a cada una de les màquines inventariades que descriu cronològicament totes les intervencions correctives que són suportades per la màquina des de la seva posada en servei.

#### El fitxer històric és el carnet de salut de la màquina.

Aquest fitxer és un complement al dossier-màquina. Per elaborar-lo cal seguir els passos següents:

- Recollir les dades:** Aquestes surten dels bons de treball (BT), de les ordres de treball (OT), dels comunicats d'intervenció i fitxes d'anàlisi de fallades.
- Elaboració del fitxer històric:** Un model possible és el que es recull a la taula següent

Històric de la màquina..... Codi.....					Índex criticitat..... Data de posada en servei.....				
Data	Comptador màquina	OT núm.	Codi assignació fallada	Descripció intervenció	Temps		Codis imputació		
					Intervals	Aturada	Causa	Naturalesa	Gravetat

Habitualment, hi ha uns codis corresponents a les diferents fallades possibles i també hi ha uns codis sobre les causes de les fallades, sobre la naturalesa de la fallada (mecànica, elèctrica, electrònica, hidràulica) i sobre la gravetat (crítica, major, menor).

La taula següent recull un exemple de codis diversos:

Causa de la fallada	Codi
Accident imprevisible	0
Causa intrínseca detectable	1
Causa intrínseca no detectable	2
Defecte de manteniment	3
Mala intervenció anterior	4
Mal maneig	5
Normes no respectades	6
Segona fallada	7
Altres causes	8

**c) Explotació dels fitxers històrics:**

L'explotació dels fitxers històrics es pot fer a diversos nivells:

- Analitzar un parc de màquines semblants: que consisteix a reunir per a una única explotació els històrics de les màquines semblants.
- Analitzar una sola màquina de forma global.
- Analitzar un grup de màquines que tinguin les mateixes funcions.
- Analitzar components de les màquines que per la seva característica ho requereixin

Del fitxer històric de la màquina s'ha de deduir:

- la llei de fiabilitat,
- l'evolució de la taxa de fallades
- la duració de la vida nominal
- els períodes d'intervenció
- el temps mitjà de bon funcionament (MTBF)
- la disponibilitat

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Per això cal posar en el fitxer els temps tècnics de reparació (TTR) o els temps d'aturada.

- quines són les peces més fràgils
- quina és l'avaria més freqüent. Així es podrà preparar la reparació amb antelació.

### 6.3. LA PATOLOGIA DEL MATERIAL

**Fallada:** És l'alteració o interrupció de la funció que compleix un determinat be. Hi ha alguns sinònims que també s'utilitzen per designar la fallada: danys, desgast, anomalies, incidents, defectes, panes, avaries, degradació, etc.

Tipus de fallades:

- **Fallada parcial:** Es denomina així, tota alteració de funcionament, sense que signifiqui necessàriament una aturada..
- **Fallada completa:** Es tracta de l'aturada de funcionament.
- **Fallada catalèptica:** És la fallada sobtada i definitiva que obliga a la substitució de la màquina.
- **Fallada per degradació:** És aquella fallada parcial que es va produint de manera progressiva.
- **Fallada aleatòria:** És la fallada sobtada i imprevisible.
- **Fallada per desgast:** És aquella fallada que té lloc de manera progressiva i que està lligada amb el temps de funcionament i el deteriorament del material.

#### Anàlisi de la fallada

L'anàlisi de la fallada ha de permetre no solament l'arranjament o reparació sinó també la recerca de les maneres d'evitar que la fallada torni a aparèixer.

En tota fallada, per poder fer una anàlisi acurada cal conèixer sis elements:

- **Causes.** Respon a la pregunta: Perquè s'ha produït la fallada?
  - **Extrínseques:** accident, mala utilització, no respectar les instruccions, mal manteniment, etc.
  - **Intrínseques:** Pròpies de la màquina. En aquest cas caldrà una investigació del tipus de fallada.
- **Manifestació.** Té a veure amb la manera com ha tingut lloc la fallada.
  - **Caràcter:** permanent, esporàdica.
  - **Velocitat:** progressiva, sobtada.
- **Identificació.** És la resposta a la preguntes: On s'ha produït?
  - **Naturalesa:** mecànic, elèctric, electrònic, hidràulic, etc.
  - **Situació:** Localització, data, nombre d'unitats d'ús, etc.
- **Amplitud.** Respon a la qüestió: Quines conseqüències sobre la màquina ha tingut?
  - **Parcial:** Implica degradació del material
  - **Completa:** Suposa la pèrdua de la funció.
- **Aptitud per a ser detectat.** Quines mesures s'havien pres per evitar-la?
  - **Tipus de vigilància preventiva** (detectors, inspeccions, rondes, etc.)
- **Conseqüències.** Quina valoració fem i quin remei hi podem posar?

Amb la recollida d'aquestes dades hem de ser capaços de fer una valoració i de proposar el remei per. Sols cal recordar:

**Les fallades són al manteniment el que les malalties són a la medicina:  
!La seva raó d'existir;**

Per fer aquesta anàlisi se sol utilitzar la fitxa d'anàlisi de fallada com la següent:

Fitxa d'anàlisi de fallada					
<b>Identificació</b>		Ordre de Treball núm. data			
Data		Codi			
Unitat comptador					
<b>Màquina /Aparell</b>		Funció	Marca	Tipus	
<b>Naturalesa</b>					
Mecànica	<input type="checkbox"/>	Electrònica	<input type="checkbox"/>	Pneumàtica	<input type="checkbox"/>
Elèctrica	<input type="checkbox"/>	Hidràulica	<input type="checkbox"/>	Altres	<input type="checkbox"/>
<b>Diagnòstic</b>					
<i>Causes extrínseques</i>		<i>Causes intrínseques</i>			
Accident	<input type="checkbox"/>	Salut material	<input type="checkbox"/>		
Mala utilització	<input type="checkbox"/>	Mala concepció	<input type="checkbox"/>		
Instruccions no respectades	<input type="checkbox"/>	Mala realització	<input type="checkbox"/>		
Mala intervenció anterior	<input type="checkbox"/>	Mal muntatge	<input type="checkbox"/>		
Neteja insuficient	<input type="checkbox"/>	Desgast	<input type="checkbox"/>		
Segona aturada	<input type="checkbox"/>	Corrosió	<input type="checkbox"/>		
Altres causes externes	<input type="checkbox"/>	Fatiga	<input type="checkbox"/>		
		Altres causes internes	<input type="checkbox"/>		
<b>Amplitud i velocitat de la manifestació</b>					
Progressiu	<input type="checkbox"/>	+ parcial	<input type="checkbox"/>	= Degradació	<input type="checkbox"/>
Sobtat	<input type="checkbox"/>	+ complet	<input type="checkbox"/>	= Catalèptic	<input type="checkbox"/>
<b>Conseqüències</b>					
<i>Taula de criticitat</i>	<i>Seguretat personal</i>	<i>Immobilització</i>	<i>Cost directe</i>	<i>Producció</i>	
Crític <input type="checkbox"/>	Riscos <input type="checkbox"/>	Molt llarga <input type="checkbox"/>	Molt elevat <input type="checkbox"/>	Aturada <input type="checkbox"/>	
Major <input type="checkbox"/>	Lesió <input type="checkbox"/>	Llarga <input type="checkbox"/>	Elevat <input type="checkbox"/>	Alentida <input type="checkbox"/>	
Menor <input type="checkbox"/>	Danys <input type="checkbox"/>	Breu <input type="checkbox"/>	Baix <input type="checkbox"/>	Continuada <input type="checkbox"/>	
Aptitud de ser detectat					
Detectors	<input type="checkbox"/>	Es podria detectar la fallada?.....			
Rondes periòdiques	<input type="checkbox"/>				
Inspeccions periòdiques	<input type="checkbox"/>				
Altres mesures	<input type="checkbox"/>	Quines ?.....			
<b>Valoració</b>					
Descripció de la fallada .....					
.....					
<b>Manteniment</b>					
Mesures correctives.....					
.....					
Mesures preventives.....					
.....					

### Taxa de reparació

És la inversa de la mitjana de temps tècnics de reparació (MTTR). Normalment el temps tècnic de reparació (TTR) és una mica inferior al temps d'aturada (TA).

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

### Taxa de fallada

És la inversa de la mitjana del temps de bon funcionament (MTBF)

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Habitualment no es coneix el MTBF i és més fàcil determinar la taxa de fallada de la manera següent:

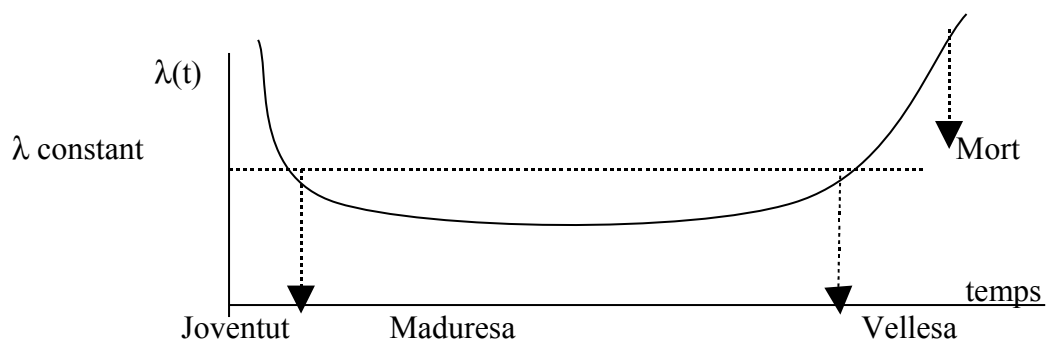
$$\lambda = \frac{\text{nombre de fallades}}{\text{durada d'ús}}$$

Se sol expressar en avaries / hora.

En el càlcul rigorós caldria no tenir en compte les fallades extrínseques és a dir aquelles que han estat produïdes per faltes de comportament com accidents externs, errors de manteniment etc.

Si representéssim la variació de la taxa de fallades en funció del temps veuríem que té la forma d'una banyera. En ella s'hi poden distingir quatre etapes: joventut, maduresa, vellesa i mort.

- **Joventut:** Correspon a l'estat de la màquina al principi del seu funcionament. Es tracta de la posada en servei i del rodatge. En aquestes fases les fallades solen ser sobtades, inesperades i prematures.
- **Maduresa:** Correspon al període de vida útil de la màquina i de rendiment òptim. Tanmateix, encara que no s'han detectat degradacions considerables del material, se solen presentar fallades aleatòries. En aquesta etapa considerarem que la taxa de fallada és constant.
- **Vellesa:** Correspon a l'etapa en que resulta visible la degradació i el desgast que se sol manifestar a través d'una fallada que evidencia la situació (desgast mecànic, fatiga, erosió, corrosió etc.) i accelera el procés. La taxa de fallada és creixent.
- **Mort:** En un determinat de l'etapa anterior i per a un valor determinat de la taxa de fallada és considera que el material ja no és útil i es procedeix a desclassificar-lo, destruir-lo.



#### 6.4. Càlcul de la taxa de fallades

La taxa de fallades pot ser analitzada com si fos una velocitat, la velocitat d'arribada de les avaries, i en conseqüència es pot obtenir una taxa mitjana de fallades i una taxa instantània.

La taxa mitjana de fallada és la probabilitat de la fallada en un interval de temps, mentre que la taxa instantània és la probabilitat de la fallada en un instant determinat.

Quan el conjunt d'elements a estudiar és considerablement gran es poden presentar dos casos:

- a) Que els elements deteriorats siguin reemplaçats.
- b) Que els elements deteriorats no siguin reemplaçats.

#### Càlcul de la taxa de fallada d'un conjunt d'elements quan els que fallen són reemplaçats.

Sigui  $N_0$  el nombre de dispositius inicials. De tots ells suposarem que en l'instant  $t$  en sobreviuen  $N_s(t)$  i que en un període de temps posterior en queden  $N_s(t+\Delta t)$ . Aleshores el nombre de fallades serà  $N_s(t) - N_s(t+\Delta t)$  i la durada d'ús serà el temps que ha transcorregut  $\Delta t$  pel nombre de dispositius en funcionament  $N_0$ .

Així, la **taxa mitjana de fallada** serà

$$\lambda = \frac{\text{nombre de fallades}}{\text{durada d'ús}} = \frac{N_s - N_s(t + \Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}$$

#### Càlcul de la taxa de fallada d'un conjunt d'elements quan els elements que fallen no són reemplaçats.

Aleshores per cada interval considerat el nombre de dispositius en funcionament serà diferents i dependrà del temps. Així, la taxa mitjana quedarà de la manera següent:

$$\lambda = \frac{\text{nombre de fallades}}{\text{durada d'ús}} = \frac{N_s - N_s(t + \Delta t)}{N_s \cdot \Delta t}$$

#### Taxa instantània de fallades

Serà la taxa mitjana quan l'increment de temps tendeix a zero.

$$\lambda = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N_s - N_s(t + \Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t} = - \frac{dN}{N(t)dt}$$

#### ACTIVITATS

1. Hem estudiat l'evolució de 70 vehicles durant el període de 80.000 km a 90.000 km i el resultat ha estat de 41 avaries reparades. Calcula la taxa mitjana de fallada en aquest període.

2. Sobre un lot de 50 electrovàlvules s'ha aplicat un test consistent a aplicar 8 impulsos per minut. Durant l'hora 50 hi van quedar solament 33 electrovàlvules mentre que a l'hora 60 només hi havia 27.

- a) Calcula la taxa mitjana de fallades en aquest període.

- b) Quin seria el valor de la taxa mitjana si s'hagués reemplaçat les vàlvules espatllades?
- c) En aquest segon cas, quin serà el valor de la taxa mitjana en fallades/impulsió?

3. Hem estudiat l'evolució de 80 motos durant el període de 10.000 km a 30.000 km i el resultat ha estat de 63 avaries reparades. Calcula la taxa mitjana de fallada en aquest període.

4. Sobre un lot de 90 vàlvules s'ha aplicat un test consistent a aplicar 15 impulsos per minut. Durant l'hora 60 hi van quedar solament 45 vàlvules mentre que a l'hora 90 només hi havia 15.

- a) Calcula la taxa mitjana de fallades en aquest període.
- b) Quin seria el valor de la taxa mitjana si s'hagués reemplaçat les vàlvules espatllades?
- c) En aquest segon cas, quin serà el valor de la taxa mitjana en fallades/impulsió?

5. La taula següent recull el nombre de làmpades que es fonen en funció del temps de funcionament. Se suposa que les làmpades foses són substituïdes immediatament.

Temps fins a la fallada (hores)	Núm. làmpades	Taxa mitjana de fallada $\lambda$ en avaries/hora
300-400	2	0,00002
400-500	9	
500-600	21	
600-700	40	
700-800	19	
800-900	8	
900-1000	1	
total	100	

- a) Amb les dades dels intervals de temps en abscisses i els valors de la taxa mitjana en ordenades dibuixa un histograma.
- b) Si l'histograma té forma de campana de Gauss calcula el temps mitjà de fallada de les 1000 làmpades i el MTBF (la mitjana de temps de bon funcionament).

6. El resultat de l'estudi de les avaries de 9 compressors es resumeix en el quadre següent. Suposarem que quan s'espatllen són reparats immediatament o són substituïts:

Temps fins a la fallada (hores)	Núm. de fallades	Taxa mitjana de fallada $\lambda$ en avaries/hora
0-100	10	$10/9 \cdot 100 = 0,011$
100-200	8	
200-300	5	
300-400	4	
400-500	3	
500-600	3	
600-700	3	
700-800	5	
800-900	9	
900-1000	10	



- a) Amb les dades dels intervals de temps en abscisses i els valors de la taxa mitjana en ordenades dibuixa un histograma.
- b) Si l'histograma te la forma de una corba banyera, quin valor tindria la taxa del període de maduresa. En aquesta fase, quin seria el MTBF?

7. Repeteix l'exercici anterior considerant que el nombre de compressors que s'avarien només són reparats però no substituïts i en conseqüència el nombre de compressors en funcionament serà variable com indica la taula següent:

Temps fins a la fallada (hores)	Núm. de compressors	Núm. d'avaries	Taxa mitjana de fallada $\lambda$ en avaries/hora
0-100	10	10	
100-200	9	8	
200-300	9	5	
300-400	8	4	
400-500	8	3	$3/(8 \cdot 100) = 0,00375$
500-600	8	3	
600-700	8	3	
700-800	6	5	
800-900	4	7	
900-1000	4	10	

- c) Amb les dades dels intervals de temps en abscisses i els valors de la taxa mitjana en ordenades dibuixa un histograma.
- d) Si l'histograma te la forma de una corba banyera, calcula el valor tindria la taxa del període de maduresa. Quin serà el MTBF?

8. Del fitxer històric de fallades d'una flota de furgonetes de repartiment de la mateixa marca i model s'ha estret la següent informació:

Interval en km	Núm. d'avaries	Núm. de vehicles supervivents	Taxa de fallada
0-10.000	11	10	
10.000-20.000	7	10	
20.000-30.000	5	9	
30.000-40.000	2	9	
40.000-50.000	2	9	
50.000-60.000	1	8	
60.000-70.000	2	8	
70.000-80.000	3	8	
80.000-90.000	2	7	
90.000-100.000	3	7	
100.000-110.000	8	7	
110.000-120.000	4	3	

9.- D'una sèrie de 200 vàlvules posades en funcionament s'ha obtingut les dades de la taula següent

<b>Temps de funcionament</b>	<b>Núm. de fallades</b>	<b>Vàlvules supervivents</b>	<b>Taxa de fallada</b>
0-1.000 h	15		
1.000-2.000 h	10		
2.000-3.000 h	5		
3.000-4.000 h	11		
4.000-5.000 h	23		

Sabem que quan una vàlvula té una avaria és millor substituir-la per una altra.

- Determina en cada interval quantes vàlvules supervivents hi haurà i quina serà la taxa de fallada.
- Representa aquesta valors en una gràfica en la qual hi hagi en ordenades la taxa de fallada i en abscisses el temps.

## 6.5 LA FIABILITAT

Es coneix com a **teories de fiabilitat** el conjunt mètodes matemàtics i estadístics, de procediments organitzatius i de pràctiques operatives dirigides a resoldre la probabilitat de supervivència d'un determinat objecte, la seva duració mitjana de vida i el percentatge de temps de bon funcionament. Les teories de fiabilitat es basen en l'estudi de les lleis que regeixen l'aparició de les fallades.

**Fiabilitat:** És la probabilitat que un determinat element funcioni sense fallades durant un temps  $t$  determinat en unes condicions ambientals donades.

la fiabilitat es designa amb la lletra  $R$  (de l'anglès *Reliability*) i com es veu és una probabilitat, és a dir, es tracta d'un número menor que 1 i que depèn del temps, per la qual cosa podem afirmar que és una funció del temps:

$$0 < R(t) < 1$$

La definició de la fiabilitat suposa tres condicions prèvies:

- Que s'ha fixat de manera clara **què vol dir que l'element no funciona**. De vegades el criteri és clar, per exemple, un condensador, una soldadura, un curt circuit, etc., però en altres casos la fallada no arriba de manera sobtada sinó que el material es deteriora. Aleshores tenen lloc un seguit d'estats intermedis entre el bon funcionament i la fallada. Cal establir, llavors, un límit admissible de deteriorament que permeti determinar el moment de la fallada.
- Que s'ha establert exactament les **condicions ambientals i d'utilització** i que aquestes es mantenen **constants** en el període estudiat. Sembla evident que el mateix material situat en contextos de funcionament diferents no tindrà la mateixa fiabilitat.
- Que estigui definit l'interval de temps  $t_m$  en el que es vol que el l'element funcioni.



Així doncs, dir que la fiabilitat del motor per a  $t_m=7000$ hores de funcionament és de  $R(t_m) = 0,9$  vol dir que la probabilitat de funcionar sense avaries en aquestes 7000 hores és del 90%.

### Història de la fiabilitat:

En el període comprés entre la primera i la segona guerra mundial va començar a aparèixer aquest concepte. Amb l'aparició dels primers aeroplans de diversos motors els tècnics militars es van començar a preguntar quina era la probabilitat que l'aeroplà funcionés bé en funció del motor que utilitzés. Aquest fou el primer cop que es van plantejar la probabilitat de supervivència de l'aeroplà en un període de temps. Aleshores, però, no hi havia prou dades per establir aquesta probabilitat.

Va caldre esperar al desenvolupament de la aviació civil perquè, entre 1932 i 1942, es pogués establir la taxa de fallades per hora d'un aeroplà  $\lambda = 0,00001$  i calcular amb posterioritat la fiabilitat  $R(t) = 0,99999$ .

Després de la segona guerra mundial, i sobre tot durant la guerra de Corea, els Estats Units van aplicar les tècniques de la fiabilitat als sistemes electrònics primer i al control nuclear després.

### ACTIVITAT

1. Sigui un conjunt de  $N = 200$  condensadors. Hem fet un estudi de les seves fallades en un període de 5 anys i el resultat ha estat el següent:

Anys	Fallades	Freqüència relativa $f(t_i)$	Freqüència relativa acumulada $F(t_i)$	Fiabilitat $R(t_i) = 1 - F(t_i)$
1	20			
2	50			
3	70			
4	40			
5	20			
Total	200			

a) Omple la taula i representa en uns eixos de coordenades les funcions:

- $f(t_i)$  = probabilitat de fallada en l'instant  $t_i$
- $F(t_i)$  = probabilitat que l'element falli a l'instant  $t_i$  i abans de  $t_i$
- $R(t_i) = 1 - F(t_i)$  = probabilitat que l'element funcioni encara a l'instant  $t_i$ .

Com es pot veure aquesta darrera probabilitat és la **fiabilitat** que és la probabilitat oposada a  $F(t_i)$ .

2. La taula següent recull el nombre de làmpades que es fonen en funció del temps de funcionament. Se suposa que les làmpades foses són substituïdes immediatament.

Temps fins a la fallada (hores)	Núm. làmpades foses	Freqüència relativa $f(t_i)$	Freqüència relativa acumulada $F(t_i)$	Fiabilitat $R(t_i) = 1 - F(t_i)$
300-400	2			
400-500	9			
500-600	21			
600-700	40			
700-800	19			
800-900	8			
900-1000	1			
total	100			

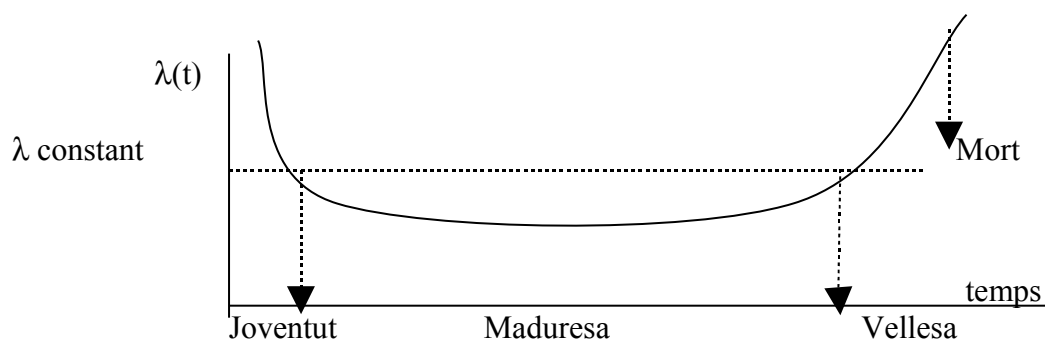
Omple la taula anterior i representa en uns eixos de coordenades les funcions:

- $f(t_i)$  = probabilitat de fallada en l'instant  $t_i$
- $F(t_i)$  = probabilitat que l'element falli a l'instant  $t_i$  i abans de  $t_i$
- $R(t_i) = 1 - F(t_i)$  = probabilitat que l'element funcioni encara a l'instant  $t_i$ .

Com es pot veure aquesta darrera probabilitat és la **fiabilitat** que és la probabilitat oposada a  $F(t_i)$ .

## 6.6. Models estadístics per a l'estudi de la fiabilitat.

Recordem que la taxa de fallades es representava segons la gràfica de tipus banyera en la que hi havia un període de rodatge on la taxa podia considerar-se decreixent, un de vida útil on la  $\lambda$  era pràcticament constant i un de desgast, on la  $\lambda$  era creixent.



La funció  $\lambda(t)$ , taxa de fallada en un instant  $t$ , té moltes similituds amb la funció  $f(t)$  de probabilitat de fallada en un instant  $t$ . Tant és així que, quan les peces deteriorades són reposades, les dues funcions coincideixen.

Suposem que  $f(t_i) = \frac{m}{M_0}$  essent  $m$  = nombre de màquines deteriorades en  $t_i$  i  $M_0$  el nombre de màquines a l'inici de l'estudi. és a dir en l'instant  $t_0$ .

Si les màquines deteriorades han estat substituïdes per unes de noves aleshores el valor de la taxa de fallada serà:

$$\lambda(t_i) = \frac{m}{M_0} = f(t_i)$$

Però, si les màquines deteriorades no són substituïdes i en l'instant  $t_i$  solament en resten  $M_i$ , aleshores la taxa de fallada serà:

$$\lambda(t_i) = \frac{m}{M_i} \neq f(t_i)$$

Ara bé com que la fiabilitat és la probabilitat de supervivència aleshores:

$$R_i = \frac{M_i}{M_0}$$

Així si d'aquestes tres expressions s'obté la relació entre la taxa  $\lambda(t_i)$  i la funció  $f(t_i)$

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \quad f(t_i) = \frac{m}{M_0} \\ \bullet \quad \lambda(t_i) = \frac{m}{M_i} \\ \bullet \quad R_i = \frac{M_i}{M_0} \end{array} \right\} \lambda(t_i) = \frac{f(t_i)}{R_i}$$

Les quatre funcions que intervenen en l'estudi de la fiabilitat són:

- taxa de fallada  $\lambda(t_i) = \frac{f(t_i)}{R_i}$
- funció de probabilitat  $f(t_i)$
- funció de distribució  $F(t_i) = \int_0^{t_i} f(t) dt$
- fiabilitat  $R(t_i) = 1 - F(t_i)$

Com hem vist les quatre funcions estan relacionades entre sí de manera que donada una es pot obtenir les altres tres.

### 6.7. Model estadístic en període de vida útil

Durant el període de vida útil la taxa  $\lambda$  és constant. L'Estadística proporciona una llei que estudia l'aparició d'esdeveniments aleatoris en el temps: és la llei de Poisson. Segons aquesta llei la fiabilitat o probabilitat que no hagi fallada en un instant  $t$  serà:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Aquesta és la probabilitat de supervivència entre 0 i  $t$

A partir d'aquest valor es poden obtenir les altres funcions:

- funció de probabilitat  $f(t_i) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$
- funció de distribució  $F(t_i) = 1 - e^{-\lambda t}$

A partir d'aquí es pot obtenir dos valor de molta utilitat:

- i. **El temps mitjà de bon funcionament MTBF**

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

- ii. **Duració de vida  $L_{10}$  associada a la fiabilitat  $R=0,9$**

Si  $R(t) = e^{-\lambda t}$  aleshores  $t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{1}{R(t)}$  i en aquest cas per  $R=0,9$  resulta que

$$L_{10} = \frac{0,105}{\lambda}$$

Aquest valor dóna el valor de  $t$ , és a dir l'instant, en el qual s'assoleix el 90% de fiabilitat.

## ACTIVITATS

1. Si la taxa de fallada d'un determinat conjunt de màquines per al període comprés entre el primer any de funcionament i el desè és constant i igual a 0,7. Determina i representa gràficament les funcions  $R(t)$ ,  $F(t)$  i  $f(t)$  i calcula el MTBF i la duració de vida corresponent a  $R=0,9$ .
2. Si la taxa de fallada d'un equip de vàlvules per al període comprés entre el primer any de funcionament i el vintè és constant i igual a 0,01. Determina i representa gràficament les funcions  $R(t)$ ,  $F(t)$  i  $f(t)$  i calcula el MTBF i la duració de vida corresponent a  $R=0,8$ .

### 6.8. Model estadístic en període de desgast.

En aquest període la  $\lambda$  és creixent degut al desgast i el model estadístic que millor descriu aquesta situació és la llei normal. Així considerarem que  $f(t)$  té la forma d'una campana de Gauss de mitjana  $\mu$  i desviació típica  $\sigma$  de manera que:

$$\text{MTBF} = \mu$$
$$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2}$$

Per a calcular  $F(t)$  i  $R(t)=1-F(t)$  caldrà utilitzar les taules de la llei normal. Així per a  $F(t)$  calcularem la probabilitat que la màquina es deteriori per a valors de la variable temps  $T \leq t$ .

$$F(t) = P(T \leq t)$$

i en conseqüència  $R(t)$  que és la probabilitat de supervivència serà la complementària d'aquesta probabilitat:

$$R(t) = 1 - P(T \leq t) = P(T > t)$$

Per poder realitzar aquests càlculs amb les taules de la llei normal caldrà prèviament tipificar la variable:

$$z = \frac{t - \mu}{\sigma}$$

## ACTIVITAT

1. Un conjunt de bombetes d'incandescència té una distribució dels temps de fallada que responen una llei normal de mitjana 120 setmanes i de desviació 20 setmanes.
  - a) Quina és la probabilitat de deteriorament fins la setmana 90?
  - b) Quina és la probabilitat de fallada durant les 150 primeres setmanes?
  - c) Quina és el percentatge de bombetes que restaran en funcionament a partir de la setmana 170.Per a fer això s'aconsella que tipifiquis la variable i utilitzis les taules de la llei normal.
2. En un edifici s'ha estudiat els fluorescents existents i s'ha comprovat que es deterioren seguint una llei normal de mitjana 130 setmanes i desviació típica de 15 setmanes. Es demana que determinis:
  - a) Quina serà la proporció de fluorescents que es creu que duraran 170 setmanes o més?
  - b) Quina proporció es creu que durarà entre 70 i 170 setmanes?

### 6.9. Model estadístic en període de rodatge.

En aquest període la  $\lambda$  és decreixent i el model estadístic que s'ajusta millor és la llei de Weibull. Aquesta llei fa servir tres paràmetres:

- Paràmetre de **forma**, designat per  $\beta$  que sempre és positiu i no té unitats. La funció  $f(t)$  adopta diverses formes segons els valors de  $\beta$ . Així:
  - si  $\beta < 1$  la funció és decreixent
  - Si  $\beta = 1$  la funció es l'exponencial i la  $\lambda$  és constant.
  - Si  $\beta > 1$  la funció és creixent i per a valor propers a 3 s'assembla molt a una llei normal. En la pràctica per a valors de  $\beta$  al voltant del 2 també es fa servir la llei normal ja que l'error que es comet és insignificant.
- Paràmetre d'**escala**, designat per  $\eta$ , també positiu i es mesura en unitats de temps
- Paràmetre de **posició**  $\gamma$ , que pot agafar tant valors positius com negatius, també es mesura en unitats de temps. Indica la data d'inici de les fallades:
  - Si  $\gamma = 0$  vol dir que les fallades comencen en l'origen de temps.
  - Si  $\gamma > 0$  vol dir que entre 0 y  $\gamma$  no hi ha hagut cap tipus de fallada.
  - Si  $\gamma < 0$  vol dir que les fallades han començat abans del moment inicial.

Aquests valors es poden determinar a partir d'uns àbacs. Les funcions de probabilitat, de distribució, de fiabilitat i la taxa instantània de fallada segueixen les fórmules següents:

- $\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1}$  **taxa de fallada**
- $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} \cdot e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$  **funció de probabilitat**
- $F(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$  **funció distribució**
- $R(t) = e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$  **fiabilitat**

La llei de Weibull és tant potent i tant flexible que ajustant convenient els valors dels tres paràmetres es pot obtenir tant el model exponencial com el model normal. Així per exemple, si  $\gamma = 0$  i  $\beta = 1$  les fórmules anteriors es converteixen en les de la llei exponencial.

A partir del coneixement dels paràmetres pot obtenir dos valor de molta utilitat:

i.

**funcionament MTBF**

**El temps mitjà de bon**

$$\text{MTBF} = A \eta + \gamma$$



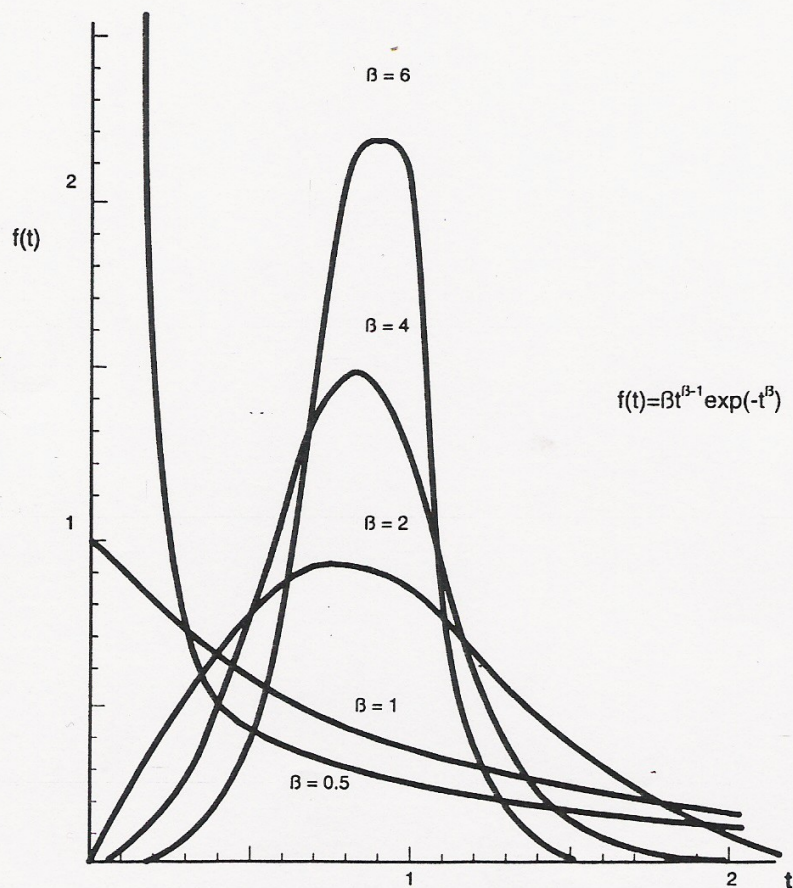


Figura 2.13 La Weibull p.d.f (simplificada  $\eta = 1$ ,  $t_0 = 0$ )

LEY DE WEIBULL.— Media =  $A\eta + \gamma$ ; desviación típica =  $B\eta$

$\beta$	A	B	$\beta$	A	B	$\beta$	A	B
0,20	120	1 901	1,50	0,9027	0,613	4	0,9064	0,254
0,25	24	199	1,55	0,8994	0,593	4,1	0,9077	0,249
0,30	9,2605	50,08	1,60	0,8966	0,574	4,2	0,9089	0,244
0,35	5,0291	19,98	1,65	0,8942	0,556	4,3	0,9102	0,239
0,40	3,3234	10,44	1,70	0,8922	0,540	4,4	0,9114	0,235
0,45	2,4786	6,46	1,75	0,8906	0,525	4,5	0,9126	0,230
0,50	2	4,47	1,80	0,8893	0,511	4,6	0,9137	0,226
0,55	1,7024	3,35	1,85	0,8882	0,498	4,7	0,9149	0,222
0,60	1,5046	2,65	1,90	0,8874	0,486	4,8	0,9160	0,218
0,65	1,3663	2,18	1,95	0,8867	0,474	4,9	0,9171	0,214
0,70	1,2638	1,85	2	0,8862	0,463	5	0,9182	0,210
0,75	1,1906	1,61	2,1	0,8857	0,443	5,1	0,9192	0,207
0,80	1,1330	1,43	2,2	0,8856	0,425	5,2	0,9202	0,203
0,85	1,0880	1,29	2,3	0,8859	0,409	5,3	0,9213	0,200
0,90	1,0522	1,18	2,4	0,8865	0,393	5,4	0,9222	0,197
0,95	1,0234	1,08	2,5	0,8873	0,380	5,5	0,9232	0,194
1	1	1	2,6	0,8882	0,367	5,6	0,9241	0,191
1,05	0,9803	0,934	2,7	0,8893	0,355	5,7	0,9251	0,186
1,10	0,9649	0,878	2,8	0,8905	0,344	5,8	0,9260	0,185
1,15	0,9517	0,830	2,9	0,8917	0,334	5,9	0,9269	0,183
1,20	0,9407	0,787	3	0,8930	0,325	6	0,9277	0,180
1,25	0,9314	0,750	3,1	0,8943	0,316	6,1	0,9286	0,177
1,30	0,9236	0,716	3,2	0,8957	0,307	6,2	0,9294	0,175
1,35	0,9170	0,687	3,3	0,8970	0,299	6,3	0,9302	0,172
1,40	0,9114	0,660	3,4	0,8984	0,292	6,4	0,9310	0,170
1,45	0,9067	0,635	3,5	0,8997	0,285	6,5	0,9318	0,168
			3,6	0,9011	0,278	6,6	0,9325	0,166
			3,7	0,9025	0,272	6,7	0,9333	0,163
			3,8	0,9038	0,266	6,8	0,9340	0,161
			3,9	0,9051	0,260	6,9	0,9347	0,160

en el qual la A és el valor corresponent a una funció  $\Gamma$ , funció euleriana de segona espècie, que depèn del valor de  $\beta$  i que està tabulada

ii.

### Desviació típica

És un valor que indica el grau de dispersió o concentració dels valors dels temps de bon funcionament al voltant de la seva mitjana MTBF. Aquest valor es calcula també a partir dels valors dels paràmetres i utilitzant la taula anterior de la funció  $\Gamma$  amb la que s'obté el valor B a partir del paràmetre  $\beta$ :

$$\sigma = B \eta$$

iii.

### Duració de vida $L_{10}$ associada a la fiabilitat $R=0,9$

És el valor de la duració associat a un determinat valor de fiabilitat i es pot obtenir a partir de la fórmula

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

en la qual si aïllem el valor de t aplicant logaritmes neperians a ambdós membres obtenim:

$$t = \gamma + \eta \left( \ln \frac{1}{R(t)} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Aquesta expressió per a  $R=0,90$  es converteix en:

$$L_{10} = \gamma + \eta \left( \ln \frac{1}{0,9} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

és a dir que:

$$L_{10} = \gamma + \eta (0,105)^{\frac{1}{\beta}}$$

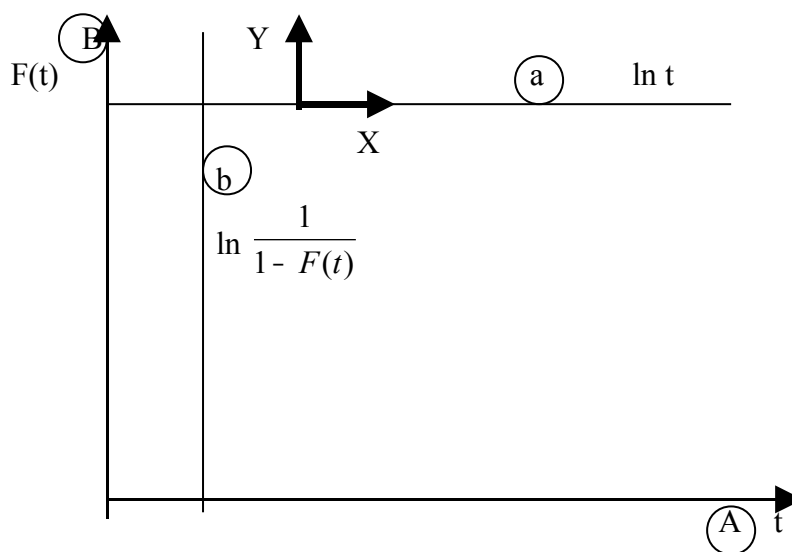
Això vol dir que si es coneixen els tres paràmetres  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\eta$  es pot determinar fàcilment el temps mitjà de bon funcionament MTBF i la duració de vida  $L$  associada a una determinada fiabilitat.

### Determinació dels paràmetres

Per poder aplicar la llei de Weibull a l'estudi de la fiabilitat és necessari disposar de dades relatives als temps de bon funcionament i de les freqüències acumulades de fallades. Aquestes dades representades en el paper d'Allan Plait es pot aconseguir una línia recta que permet obtenir els valors dels paràmetres  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\eta$ . Per comprendre aquest procediment cal descriure primer l'estructura del paper d'Allan Plait o de Weibull.

#### 6.10. Estructura del paper d'Allan Plait

Es tracta d'un paper doblement logarítmic que conté quatre eixos. En l'eix A es representa el temps  $t$ . En B es representa la freqüència acumulada de fallades  $F(t)$  en percentatge. En l'eix a es pot aconseguir el valor del logaritme neperià del temps  $\ln t$  i el l'eix b s'obté el logaritme de la inversa de la fiabilitat, és a dir  $\ln \frac{1}{1 - F(t)}$



El gràfic Plait conté també uns eixos de referència secundaria X, Y que com veurem permeten l'obtenció del coeficient  $\beta$ .

#### Utilització del paper

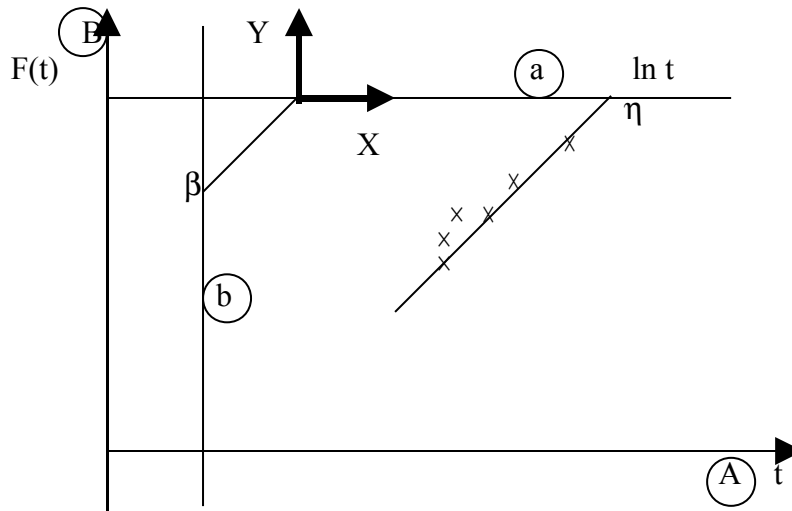
En primer lloc caldrà preparar les dades de partida que són els TBF i la freqüència acumulada de fallades en %. Aquestes dades les representarem respectivament en els eixos A i B. Si el resultat és una línia de punts aleshores considerarem que  $\gamma = 0$  si no fos així, aleshores  $\gamma$  seria diferent de 0 i aleshores hauríem de seguir un procediment diferent.

##### 1. Cas que el conjunt de punts $(F(t), t)$ es pot representar per una línia recta

Si el núvol de punts  $(F(t), t)$  pot ser representat per una línia recta o se li pot ajustar una recta de regressió aleshores els valors dels coeficients s'obtindran de la manera següent:

- El coeficient  $\gamma = 0$
- El coeficient  $\eta$  serà el valor de  $t$  obtingut sobre l'eix A corresponent al punt de tall de la recta representada anteriorment.
- El coeficient  $\beta$  està relacionat amb el pendent de la recta i l'obtindrem traçant una paral·lela a aquesta recta que passi per l'origen de

coordenades dels eixos X,Y. Aquesta paral·lela talla a l'eix b en un punt que és el valor de  $\beta$ .



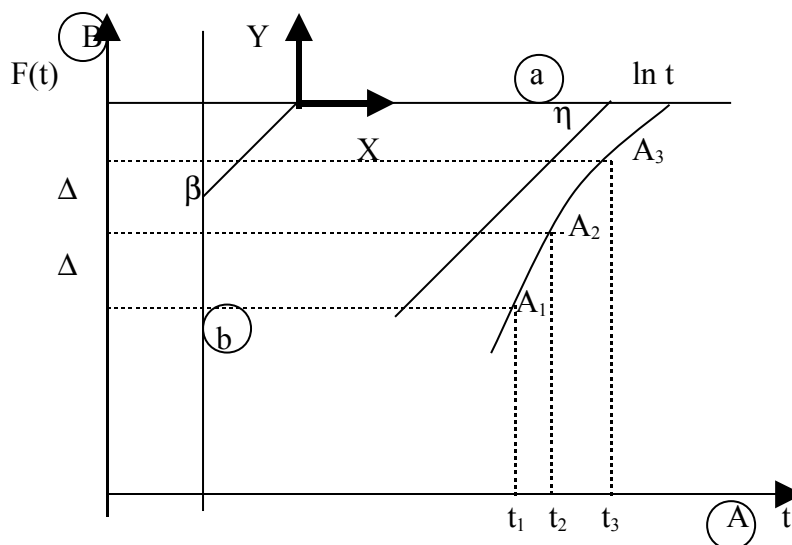
## 2. Cas que el conjunt de punts $(F(t), t)$ no es pot representar per una línia recta

Si el núvol de punts no es pot ajustar a una línia recta i en canvi adopta la forma d'una corba aleshores  $\gamma$  no serà nul sinó que tindrà un valor positiu o negatiu.

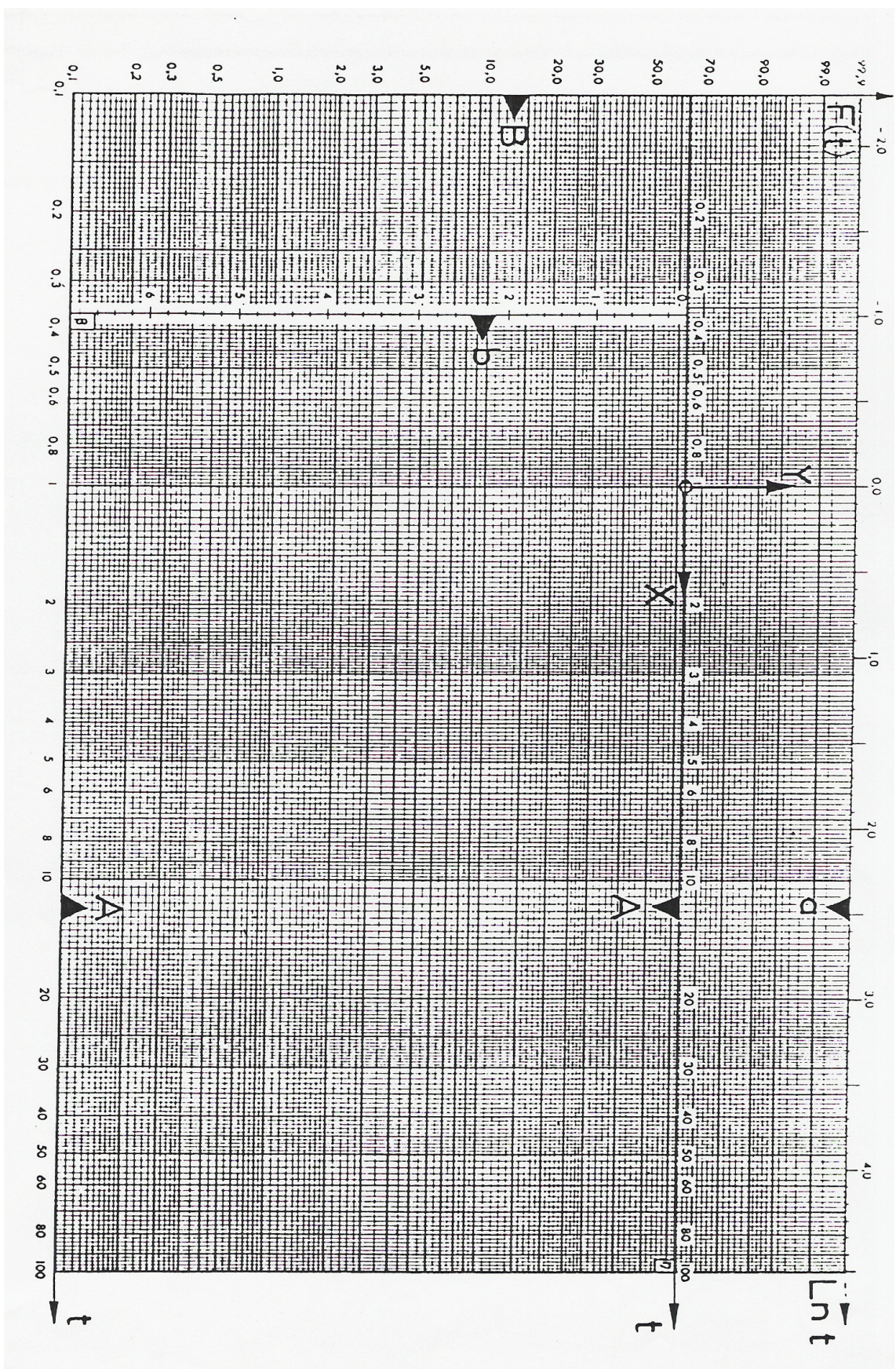
Aleshores el procedeix a convertir la corba en una línia recta. El procediment és el següent:

- Escollim tres punts de la corba la separació dels quals en vertical sigui igual.
- Amb els valors dels tres temps  $t_1$ ,  $t_2$  i  $t_3$  es determina el valor de  $\gamma$

$$\gamma = \frac{t_2^2 - t_1 \cdot t_3}{2t_2 - t_1 - t_3}$$









- A continuació restem dels valors de  $t$  el valor  $\gamma$  obtingut i aleshores la corba aconseguida serà una recta. i podrem obtenir els valors de  $\eta = t_0 - \gamma$  i de  $\beta$  de la mateixa manera que en el cas anterior.

#### ACTIVITATS

1. L'estudi de fallades d'un equipament industrial ha donat com a resultat els valors de la taula següent:

Temps (anys)	1	2	3	4	5
Freqüència acumulada de fallades en %	4,5	15	30	48	64

S'ha cregut apropiat aplicar la llei de Weibull per a determinar el temps mitja de bon funcionament i la duració de vida associada a la fiabilitat del 90%. Per fer això s'aconsella seguir els passos següents.

- a) Representa els valors de la taula en el gràfic Allan Plait.
- b) Determina els valors dels paràmetres  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\eta$ .
- c) Determina la fórmula concretes de les funcions  $f(t)$ ,  $F(t)$ ,  $R(t)$  i  $\lambda(t)$  en aquest cas concret utilitzant les fórmules generals següents.

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} && \text{taxa de fallada} \\ f(t) &= \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta} && \text{funció de probabilitat} \\ F(t) &= 1 - e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta} && \text{funció distribució} \\ R(t) &= e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta} && \text{fiabilitat} \end{aligned}$$

- d) Calcula el MTBF, la desviació típica  $\sigma$  i la duració de vida  $L_{10}$  utilitzant les fórmules i els valors de les taules de la llei de Weibull.

$$\text{MTBF} = A \eta + \gamma$$

$$\sigma = B \eta$$

$$L_{10} = \gamma + \eta (0,105)^{\frac{1}{\beta}}$$

2. L'estudi de fallades d'un equipament industrial ha donat com a resultat els valors de la taula següent:

Temps (anys)	0,4	0,5	0,6	0,8	1	2	3	4
Freqüència acumulada de fallades en %	8	10	12	15	20	30	52	64

S'ha cregut apropiat aplicar la llei de Weibull per a determinar el temps mitja de bon funcionament i la duració de vida associada a la fiabilitat del 90%. Per fer això s'aconsella seguir els passos següents.

- a) Representa els valors de la taula en el gràfic Allan Plait.
- b) Determina els valors dels paràmetres  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\eta$ .
- c) Determina la fórmula concretes de les funcions  $f(t)$ ,  $F(t)$ ,  $R(t)$  i  $\lambda(t)$
- d) Calcula el MTBF, la desviació típica  $\sigma$  i la duració de vida  $L_{10}$  utilitzant les fórmules i els valors de les taules de la llei de Weibull.

3. L'estudi de fallades d'un equipament industrial ha donat com a resultat els valors de la taula següent:

Temps (anys)	2	3	4	5	6	8	10
Freqüència acumulada de fallades en %	2,6	14	30	50	64	80	90

S'ha cregut apropiat aplicar la llei de Weibull per a determinar el temps mitja de bon funcionament i la duració de vida associada a la fiabilitat del 90%. Per fer això s'aconsella seguir els passos següents.

- Representa els valors de la taula en el gràfic Allan Plait.
- Determina els valors dels paràmetres  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\eta$ . Si el núvol de punts no és una línia recta hauràs d'ajustar-ne una utilitzant el procediment següent:
  - Escull tres punts de la corba que tinguin la separació en vertical igual.
  - Amb els valors dels tres temps  $t_1$ ,  $t_2$  i  $t_3$  es determina el valor de  $\gamma$

$$\gamma = \frac{t_2^2 - t_1 \cdot t_3}{2t_2 - t_1 - t_3}$$

- Determina la fórmula concretes de les funcions  $f(t)$ ,  $F(t)$ ,  $R(t)$  i  $\lambda(t)$
- Calcula el MTBF, la desviació típica  $\sigma$  i la duració de vida  $L_{10}$  utilitzant les fórmules i els valors de les taules de la llei de Weibull.

4. L'estudi de fallades d'un equipament industrial ha donat com a resultat els valors de la taula següent:

Temps (anys)	0,6	0,8	1	2	3	3,5	4
Freqüència acumulada de fallades en %	5	7	10	15	64	90	99

S'ha cregut apropiat aplicar la llei de Weibull per a determinar el temps mitja de bon funcionament i la duració de vida associada a la fiabilitat del 90%. Per fer això s'aconsella seguir els passos següents.

- Representa els valors de la taula en el gràfic Allan Plait.
- Determina els valors dels paràmetres  $\beta$ ,  $\gamma$  i  $\eta$ . Si el núvol de punts no és una línia recta hauràs d'ajustar-ne una utilitzant el procediment habitual
- Determina la fórmula concretes de les funcions  $f(t)$ ,  $F(t)$ ,  $R(t)$  i  $\lambda(t)$ .
- Calcula el MTBF, la desviació típica  $\sigma$  i la duració de vida  $L_{10}$  utilitzant les fórmules i els valors de les taules de la llei de Weibull

### Preparació de les dades

Després de veure com es pot fer un càlcul del MTBF amb la llei de Weibull se'ns planteja la pregunta de com es podrà obtenir les dades. Aquests valors han de ser de dos tipus: el temps entre fallades i la freqüència acumulada d'aquestes en percentatge. Evidentment les dades han de sortir de l'històric de fallades. A partir dels comunicats d'avaries es pot determinar els intervals que hi ha entre dues avaries, és a dir el temps de bon funcionament (TBF). Un cop determinats caldrà que els ordenar-los en ordre creixent. Aquest valor serà el que ocuparà la columna de temps.

A cada fallada li assignarem un nombre d'ordre  $i$ . La mida de la mostra escollida  $N$  serà precisament el nombre de TBF que hem enregistrat i coincidirà amb el darrer

valor de  $i$ , que designarem amb la lletra  $N$ . El valor de  $N$  ens permetrà de determinar la freqüència acumulada de les fallades  $F(i)$  que es donarà en percentatge i dependrà del nombre de mesures que s'hagin realitzat. És a dir de la mida de la mostra  $N$ . Així doncs, distingirem els tres casos següents:

$$N > 50 \dots\dots\dots F(i) = \frac{i}{N} \cdot 100$$

$$50 > N > 20 \dots\dots\dots F(i) = \frac{i}{N + 1}$$

$$N < 20 \dots\dots\dots F(i) = \frac{i - 0,3}{N + 0,4}$$

## EXERCICIS

1.- Una sèrie de 150 sensors ha estat analitzada i s'ha detectat el nombre de fallades segons les hores de funcionament.

Interval de temps	Núm. fallades
0-100 h.	17
100-200 h.	9
200-300 h	5
300-400 h	4
400-500 h	4
500-600 h	4
600-700 h	4
700-800 h	5
800-900 h	19
900-1000 h	25

Determina la taxa de fallada de cada interval i representa el seu valor en un histograma. Determina el valor de la taxa mitjana per al període de funcionament correcte dels sensors y estableix quina serà la MTBF.

2.- Suposant que la vida útil d'un rodament de rodets segueix una distribució de Weibull amb paràmetres  $\beta=2$  i  $\eta= 10.000$  hores, es demana:

- Determinar la probabilitat de supervivència del rodament per a 8.000 hores.
- Determina la MTBF

3.- Es disposa de les dades històriques de les fallades del sistema dels compressors d'una cambra frigorífica:

Núm. fallades	TBF	F(t)
1	3,02	
2	5,10	
3	6,51	
4	7,05	
5	9,01	
6	10,20	
7	15	
8	16,10	
9	18,05	
10	19,10	
11	20	
12	24,9	
13	25,1	
14	35,05	
15	39,9	



- Calcula els paràmetres de Weibull. Es pot assumir que  $\gamma=0$ ?
- Quantes hores de funcionament podem garantir per una fiabilitat del 85%?
- Determina la MTBF.
- Quina és la probabilitat de fallada per a 20.000 hores de funcionament?

4.- Disposem de l'històric de fallades de unes vàlvules i es vol fer un estudi pel mètode de Weibull.

Fallades	Temps entre fallades (h)	F(t)
1	77	
2	158	
3	244	
4	335	
5	432	
6	535	
7	646	
8	766	
9	897	
10	1040	
11	1198	
12	1374	
13	1374	
14	1574	
15	1806	
16	2079	
17	2414	
18	2846	
19	3454	
20	4494	

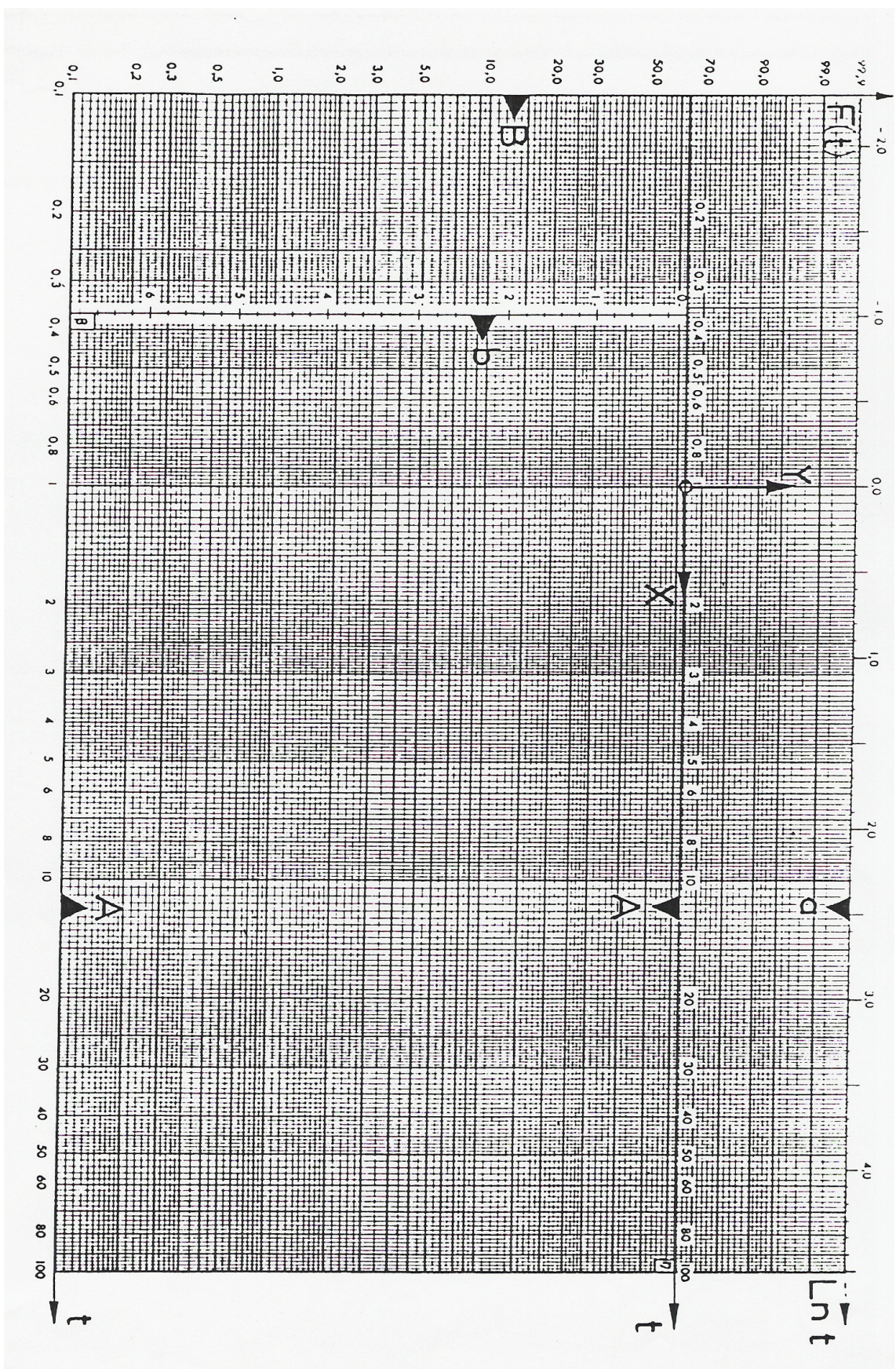
- Calcula els paràmetres de Weibull.
- Determina la MTBF
- Calcula la fiabilitat al cap de 500 hores.

5.- En un motor de cogeneració Diesel s'han obtingut els temps entre fallades en hores que detalla la taula següent:

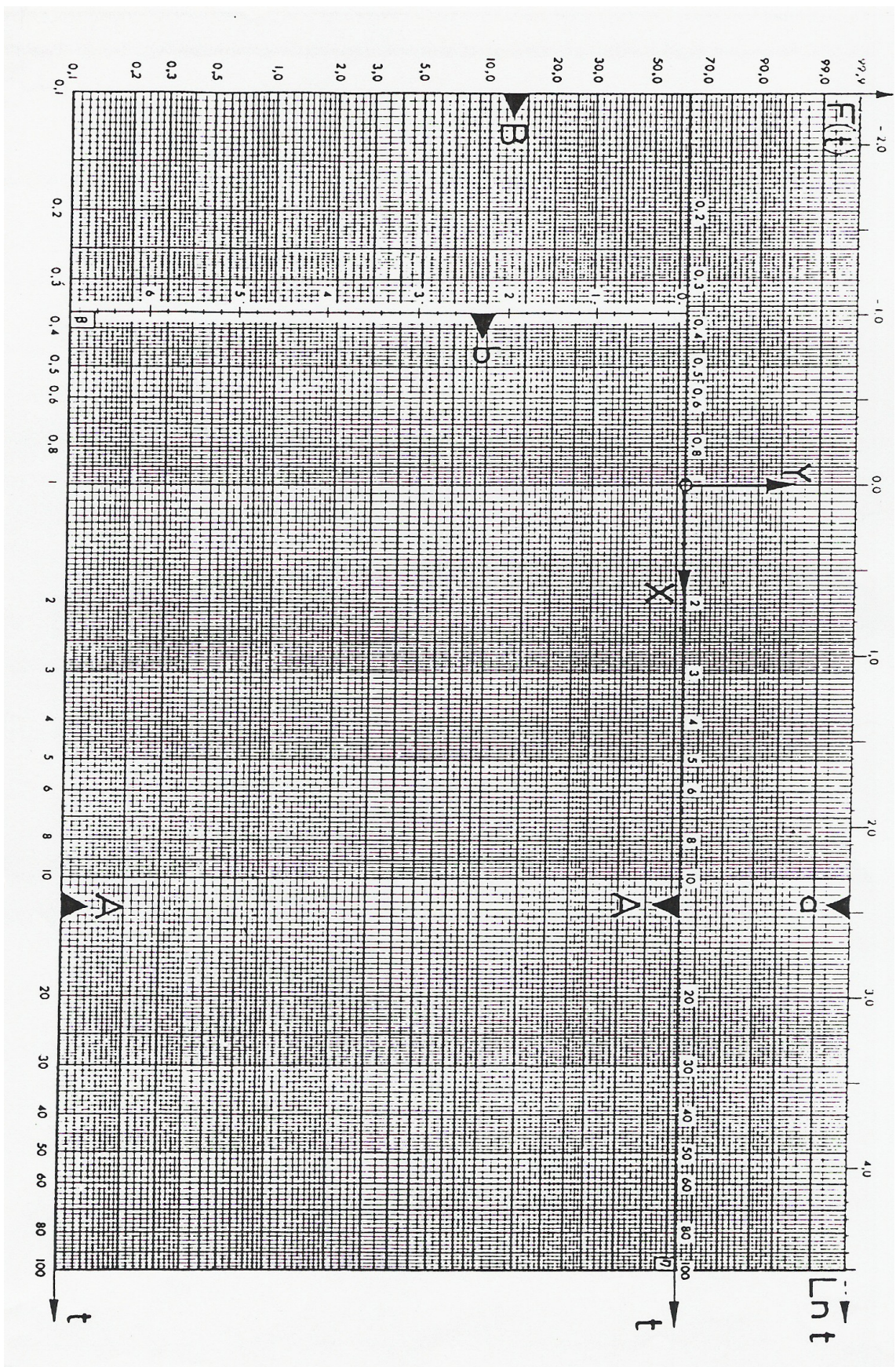
Núm. Fallades	TBF (h)	F(t)
1	350	
2	450	
3	600	
4	720	
5	900	
6	1100	
7	1400	
8	1800	
9	3200	

- Calcula els paràmetres de Weibull.
- Determina la MTBF i la fiabilitat per a aquest valor.
- Calcula el nombre d'hores en què es pot garantir la fiabilitat del 85%.
- Quina és la probabilitat de fallada en 1000 hores.











### Aplicació del MTBF

Un cop determinat el MTBF per algun dels mètodes abans esmentat aleshores caldrà establir el període T en el qual s'han de realitzar les accions de manteniment sistemàtic. Aquest període ha de ser una mica inferior al MTBF per tal d'avançar-se a la fallada. Per això caldrà multiplicar aquest valor per un factor de reducció k.

$$T = k \cdot \text{MTBF}$$

Per determinar la k fixarem prèviament el nivell de confiança és a dir la fita superior  $L_S$  i inferior  $L_I$  que estem disposats a assumir. Així buscarem la probabilitat que el MTBF sigui inferior a un valor  $L_I$  i la probabilitat que el MTBF sigui superior a  $L_S$ .

$$P(\text{MTBF} > L_S) = a$$

$$P(\text{MTBF} < L_I) = b$$

Així, la probabilitat que ens interessa és la que el MTBF estigui entre les dues fites serà:

$$P(L_I < \text{MTBF} < L_S) = P(\text{MTBF} < L_S) - P(\text{MTBF} < L_I) = 1 - a - b = 1 - (a + b)$$

$$P(L_I < \text{MTBF} < L_S) = 1 - (a + b)$$

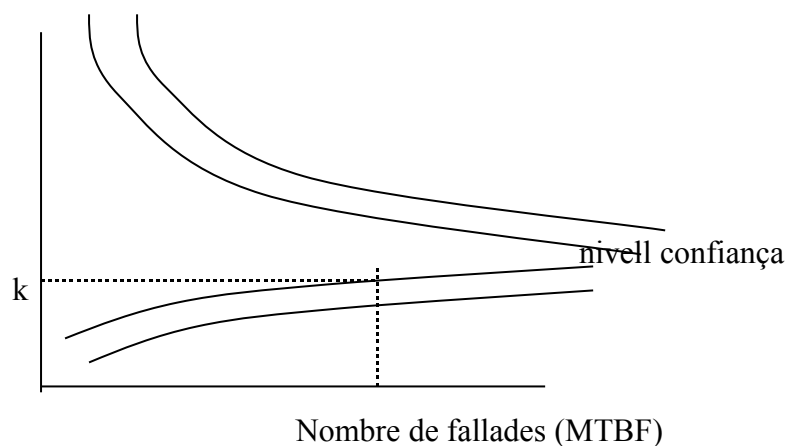
Així si volem un interval de confiança del 90% aleshores:

$P(L_I < \text{MTBF} < L_S) = 0,9$  i d'aquí escollim uns valors de a i b que ho compleixin com per exemple

- $a = 0,05$  i  $b = 0,05$  ja que  $1 - (0,05 + 0,05) = 0,9$  serà un **interval centrat**.
- $a = 0,1$  i  $b = 0$  ja que  $1 - (0,1 + 0) = 0,9$  serà un **interval unilateral**.
- o qualsevol altra combinació que ens pugui interessar.

així, determinats els valors de a i de b amb una taula de la llei normal es podrà obtenir el valor del període corresponent.

En la pràctica la fita que ens interessa és la fita inferior i per obtenir-la hi ha un mètode senzill que consisteix a utilitzar el **gràfic d'assaigs truncats** que proporciona el coeficient de reducció k coneixent el nombre de fallades corresponent al temps MTBF i el nivell de confiança escollit.



Així si sabem que per a un temps MTBF el nombre de fallades és de 20 i necessitem un nivell de confiança del 90% aleshores marquem aquest valor en abscisses i pugem verticalment fins a tallar la corba corresponent al nivell de confiança 0,9. Aleshores en ordenades aconseguirem el valor k.

El període que haurem de fer servir per establir un manteniment sistemàtic serà:

$$T = k \cdot \text{MTBF}$$

#### ACTIVITATS

1. Hem estudiat l'evolució d'uns vehicles durant el període de 80.000 km a 90.000 km i el resultat ha estat de 40 avaries reparades. El MTBF 17.000 km. Determina el període T d'intervenció del manteniment sistemàtic. per a un nivell de confiança del 90%.
2. Sobre un lot d'electrovàlvules s'ha utilitzat un test consistent a aplicar impulsos per minut i el resultat ha estat de 10 avaries entre l'hora 50 i la 60. La taxa mitjana de fallades és un valor constant de 0,018 fallades/ hora. Determina el MTBF i el període T d'intervenció del manteniment sistemàtic. per a un nivell de confiança del 0,9.
3. Hem estudiat l'evolució de 80 motos durant el període de 10.000 km a 30.000 km. La taxa mitjana de fallada ha resultat ser de 0,000039 avaries/km. Determina el MTBF i el període T d'intervenció del manteniment sistemàtic. per a un nivell de confiança del 0,9. I si el nivell de confiança desitjat fos del 0,8?
4. La taula següent recull el nombre de làmpades que es fonen en funció del temps de funcionament.

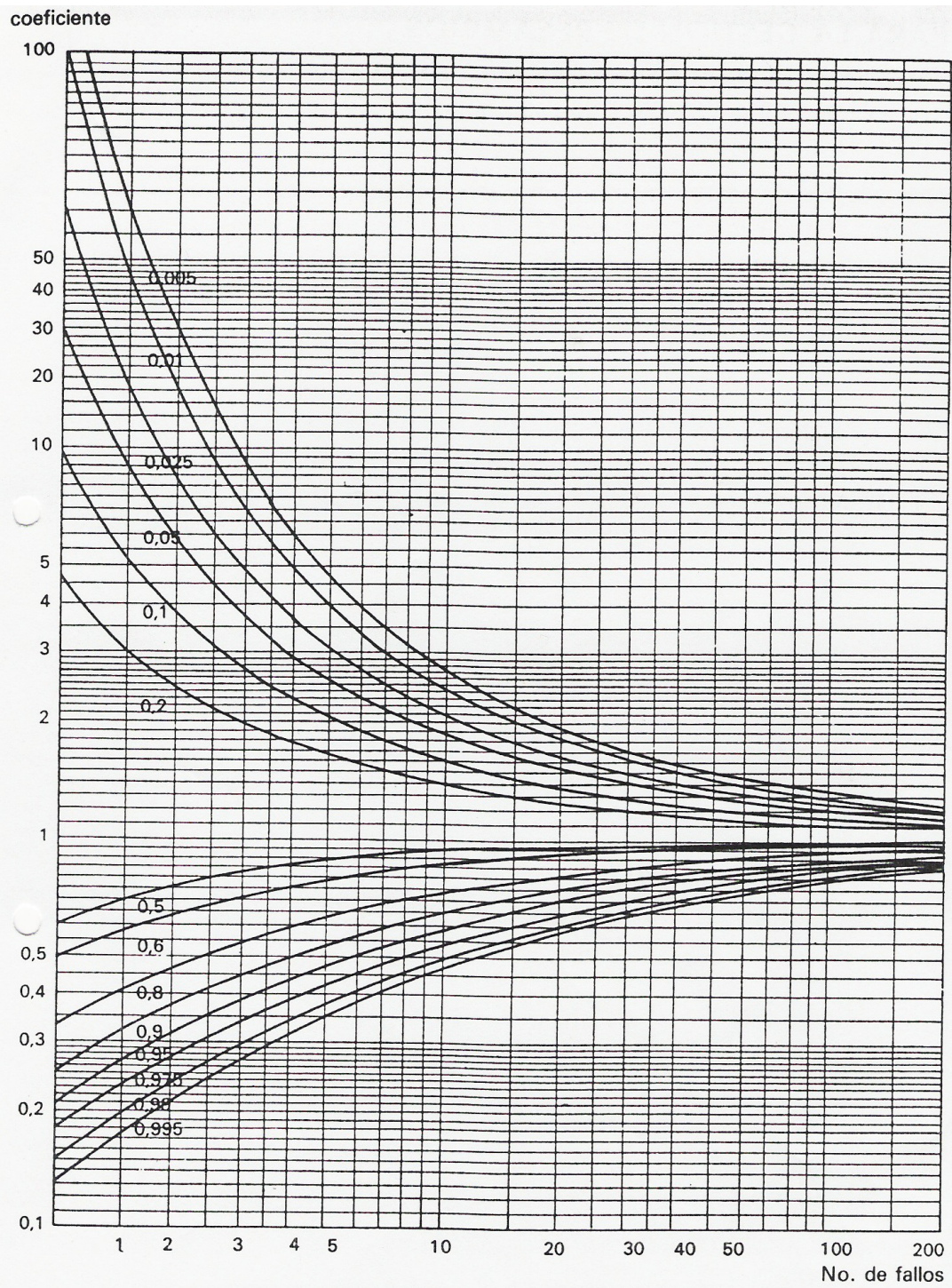
Temps fins a la fallada (hores)	Núm. làmpades
300-400	2
400-500	9
500-600	20
600-700	40
700-800	19
800-900	8
900-1000	1
total	100

Si el MTBF estimat és de 530 h, determina el període T d'intervenció del manteniment sistemàtic. per a un nivell de confiança del 95%.

5. El resultat de l'estudi de les avaries de 9 compressors es resumeix en el quadre següent:

Temps fins a la fallada (hores)	Núm. de fallades
0-100	10
100-200	8
200-300	5
300-400	4
400-500	3
500-600	3
600-700	3
700-800	5
800-900	9
900-1000	10

Si el MTBF estimat és de 250 h, determina el període  $T$  d'intervenció del manteniment sistemàtic per a un nivell de confiança del 90%.



*Ensayos truncados (norma AFNOR X 06 - 501)*

## EXERCICIS

1. D'una sèrie de 150 vàlvules posades en funcionament s'ha obtingut les dades de la taula següent

Temps de funcionament	Núm. de fallades	Vàlvules supervivents	Taxa de fallada
0-1.000 h	12		
1.000-2.000 h	10		
2.000-3.000 h	5		
3.000-4.000 h	4		
4.000-5.000 h	3		

Sabem que quan una vàlvula té una avaria és millor substituir-la per una altra.

- Determina en cada interval quantes vàlvules supervivents hi haurà i quina serà la taxa de fallada.
- Representa aquests valors en una gràfica en la qual hi hagi en ordenades la taxa de fallada i en abscisses el temps.

2. S'ha fet un estudi de les hores de funcionament i el nombre acumulat de fallades d'un determinat equip frigorífic i el resultat es recull a la taula següent:

Fallades acumulades F(t)	5	10	15	20	24	30	35	39	44	49
Temps (anys)	8	16	24	33	44	53	64	76	89	104

- Calcula els paràmetres de la llei de Weibull
- Determina la fórmula concreta de les funcions  $f(t)$ ,  $F(t)$ ,  $R(t)$  i  $\lambda(t)$  en aquest cas utilitzant les fórmules generals següents.

$$\begin{aligned}
 \lambda(t) &= \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} && \text{taxa de fallada} \\
 f(t) &= \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1} \cdot e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} && \text{funció de probabilitat} \\
 F(t) &= 1 - e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} && \text{funció distribució} \\
 R(t) &= e^{-\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} && \text{fiabilitat}
 \end{aligned}$$

- Calcula el MTBF, la desviació típica  $\sigma$  i la duració de vida  $L_{10}$  utilitzant les fórmules i els valors de les taules de la llei de Weibull.

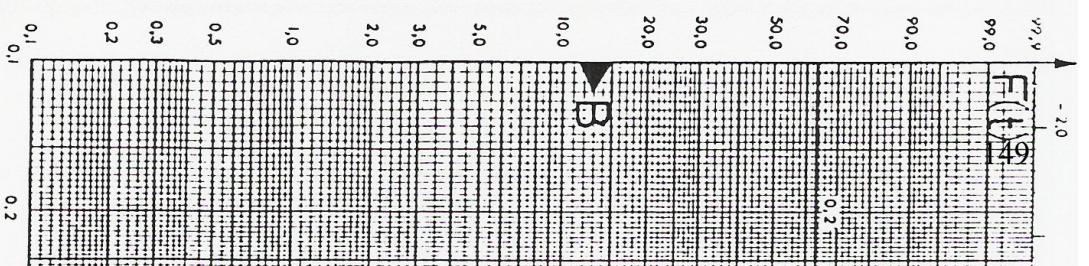
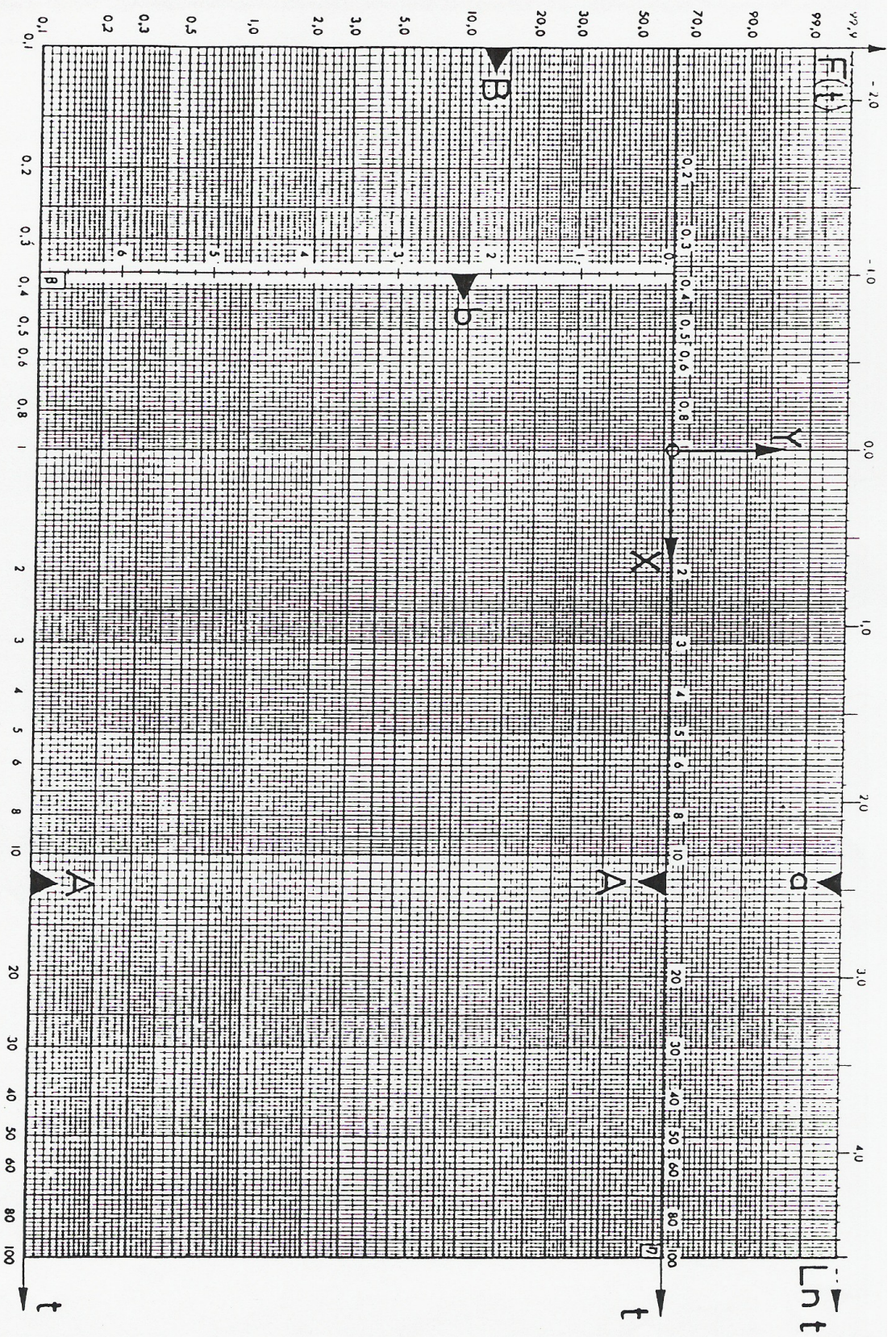
$$\text{MTBF} = A \eta + \gamma$$

$$\sigma = B \eta$$

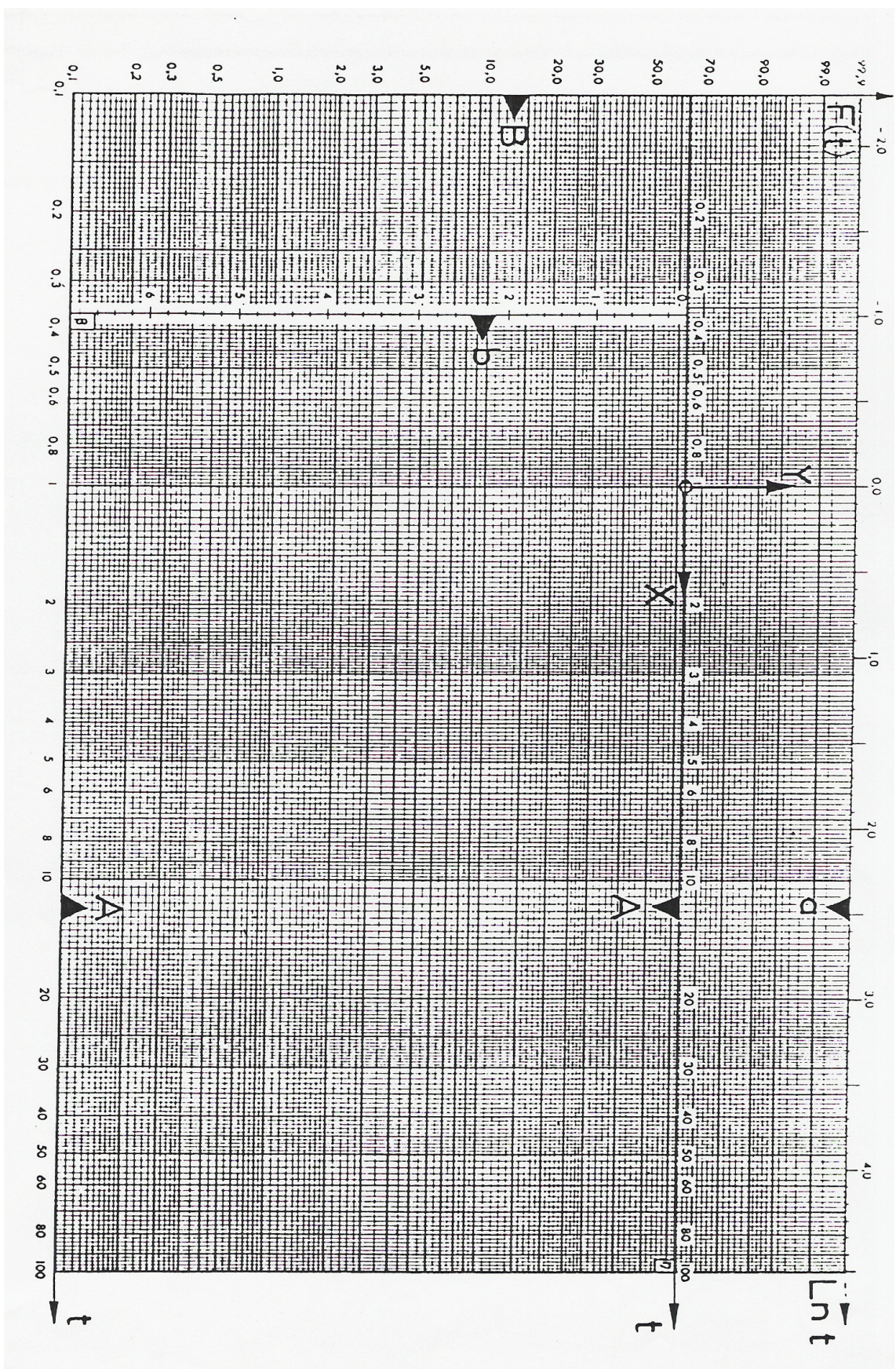
$$L_{10} = \gamma + \eta (0,105)^{\frac{1}{\beta}}$$

- Determina quina serà la fiabilitat després de 53 anys de funcionament.

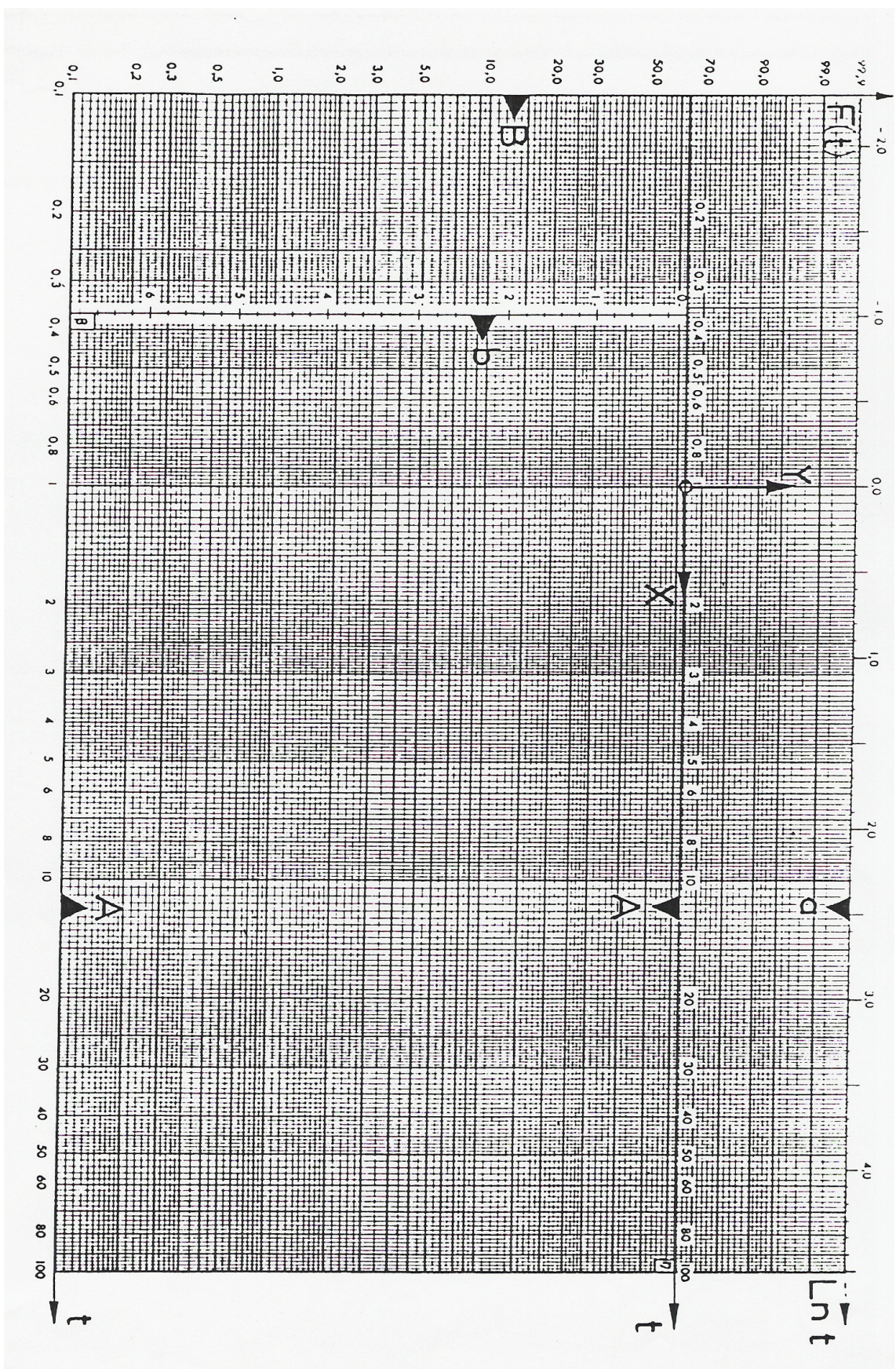




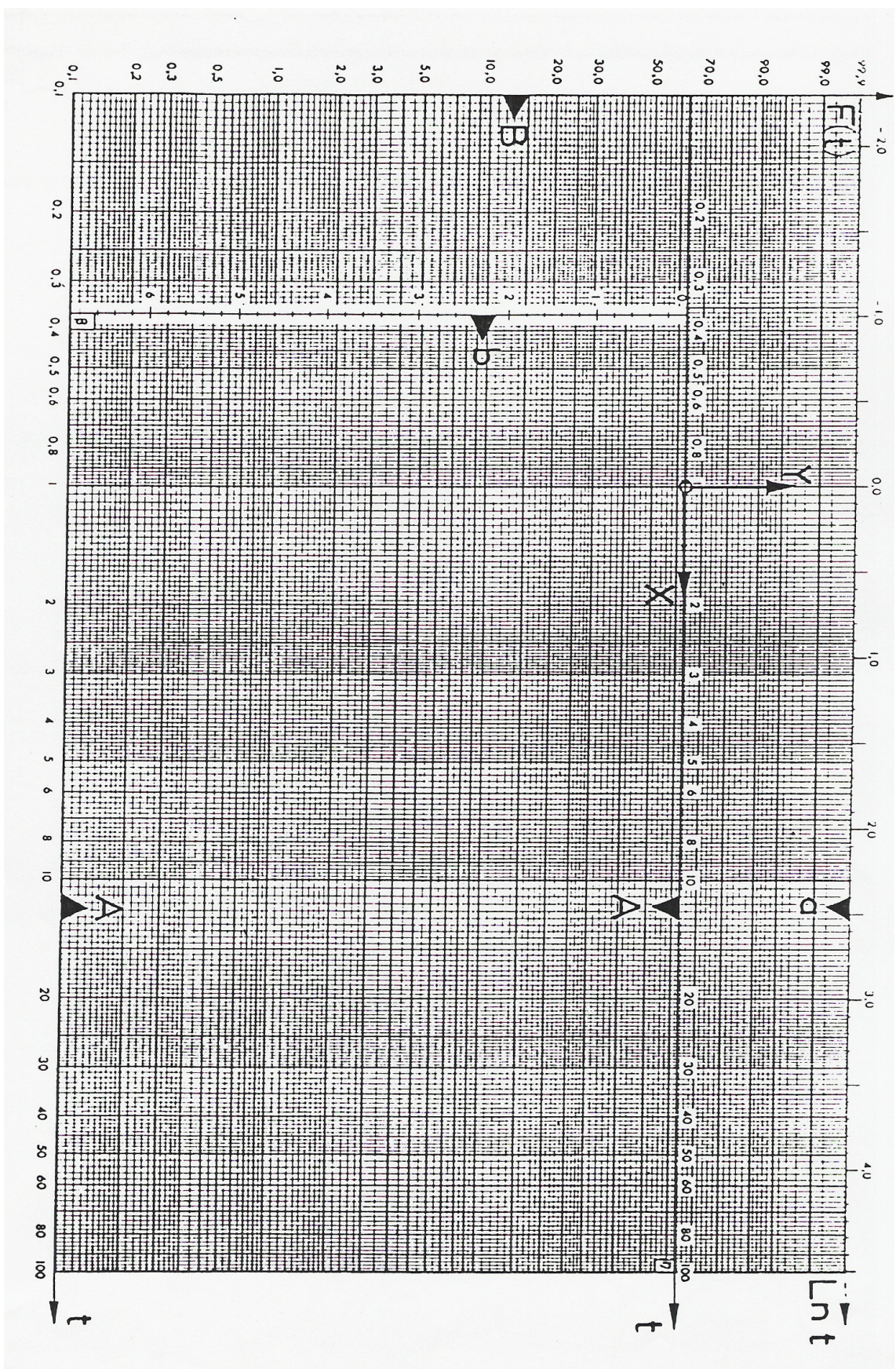














## 6.12. FIABILITAT DE SISTEMAS

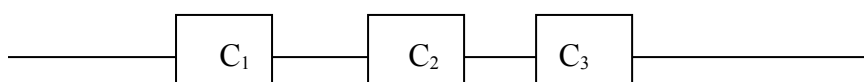
Fins ara hem estudiat la fiabilitat en els elements individuals com per exemple en una vàlvula, un compressor, una bombeta etc. És a dir hem après a calcular la fiabilitat d'una màquina. Però, habitualment aquest element simple forma part d'un conjunt més ampli, per exemple les tres màquines utilitzades en un determinat procés de producció. Si sabem de cada una d'elles la fiabilitat  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$  la pregunta que haurem de respondre és: Quina és la fiabilitat del conjunt?

En aquest apartat aprendrem a determinar la relació que hi ha entre la fiabilitat d'un element individual i la fiabilitat d'un conjunt d'elements o sistema complex.

Es poden presentar dos casos que analitzarem fent servir el símil elèctric: fiabilitat en sèrie i fiabilitat en paral·lel

### Fiabilitat en sèrie

Aquest cas es presenta quan la fallada d'una màquina afecta a tot el conjunt.



En aquest cas perquè el sistema funcioni cal que ho facin tots els seus components. Aleshores si la fiabilitat individuals de cada màquina (probabilitat que cada màquina no falli) és  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ , la probabilitat que totes elles no fallin al mateix moment serà el producte d'aquestes probabilitats.

$$R_T = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3$$

Un cas molt corrent és el que es refereix a un període de vida útil d'aquest conjunt en el qual la taxa de fallada  $\lambda$  és constant per a cada una de les màquines i les respectives funcions fiabilitat són exponencials decreixents del tipus:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

En aquest cas:

$$R_T = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \cdot t}$$

Aleshores la mitjana de temps de bon funcionament del conjunt es podrà calcular en funció de les MTBF de cada una de les màquines respectives utilitzant la fórmula següent:

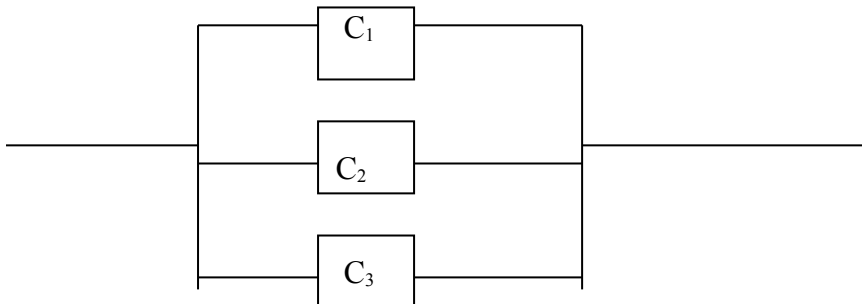
$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} = \frac{1}{\frac{1}{MTBF_1} + \frac{1}{MTBF_2} + \frac{1}{MTBF_3}}$$

## ACTIVITATS

1. Una bomba de combustible està connectada a un carburador. Hem determinat que el MTBF de la bomba és de 3000 hores i el del carburador és de 1500. Quin serà el MTBF del conjunt.
2. Tres vàlvules estan connectades en línia de forma que si una d'elles falla es bloqueja el subministrament del fluid. Si les taxes de fallada són constants i valen respectivament 0,004, 0,0009, 0,01 avaries/hora. Determina el MTBF del conjunt i la probabilitat de supervivència del conjunt al cap de 300 hores.
3. Quatre vàlvules estan connectades en sèrie i tenen una taxa de fallada de 0,0001 avaries/hora cadascuna. Calcula:
  - a) La probabilitat de supervivència a les 1500 hores.
  - b) El MTBF del conjunt.

## Fiabilitat en paral·lel

Direm que un sistema treballa en paral·lel si la fallada d'una màquina no afecta a tot el conjunt. Podrem afirmar que aquest cas succeeix si es pot recórrer l'esquema de funcionament d'esquerra a dreta i d'un extrem a l'altre en al menys un camí on no hi hagi components afectats per la fallada.



En aquest cas el sistema solament fallarà si fallen tots elements al mateix moment. Els càlculs se simplifiquen si en lloc de fer servir la fiabilitat R (que és la probabilitat de supervivència) es fa servir la seva contrària que és la probabilitat de fallada F (que coincideix amb la funció distribució). Així la probabilitat de fallada del conjunt serà:

$$F_T = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$$

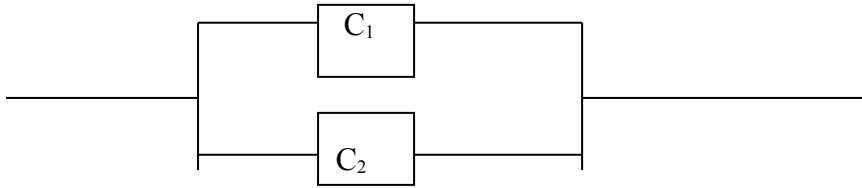
Aleshores la fiabilitat del conjunt serà la probabilitat oposada.

$$R_T = 1 - F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$$

A continuació obtindrem les fórmules dels MTBF per a un cas concret corresponent a dos elements en paral·lel en el cas que les taxes de fallada siguin constants cosa que correspon als períodes de vida útil.

### Cas de dos elements en paral·lel

Considerarem el cas en què solament hi ha dos elements en paral·lel com els de la figura



Cada un dels elements té una taxa de fallada constant  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  respectivament. Aleshores si  $F_1$  i  $F_2$  són les probabilitats de fallada, les fiabilitats o probabilitats de supervivència seran respectivament  $R_1$  i  $R_2$  de manera que

$$\begin{aligned}F_1 &= 1 - R_1 \\F_2 &= 1 - R_2\end{aligned}$$

Si la probabilitat de fallada del conjunt és

$$F_T = F_1 \cdot F_2$$

la probabilitat de supervivència del conjunt serà

$$R_T = 1 - F_1 \cdot F_2 = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) = R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2$$

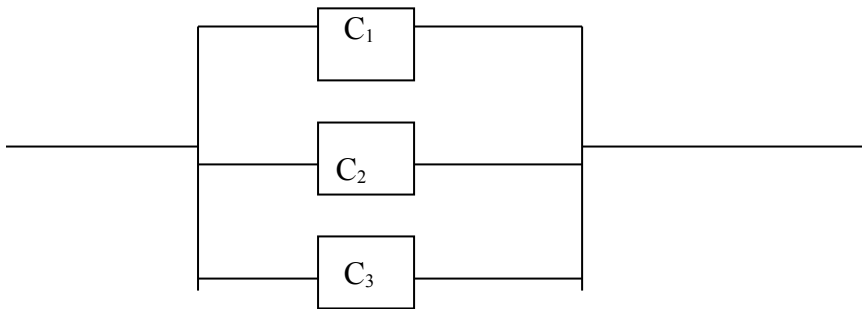
el MTBF del sistema es pot calcular resolent la integral:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R_T(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t} dt = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

### ACTIVITAT

1. Dues vàlvules connectades en paral·lel tenen unes taxes de fallada respectives de 0,003 i 0,0001. Determina el MTBF del conjunt i la probabilitat de supervivència a les 4000 hores de funcionament.
2. Determina una fórmula per a calcular el MTBF per a un conjunt de dues vàlvules idèntiques.
3. Dos bombes connectades en paral·lel tenen una taxa de fallada idèntica de 0,00007 avaries/hora.
  - a) Quina és la probabilitat de fallada fins a les 1000 hores?
  - b) Quan valdrà el MTBF del conjunt.
4. Tres bombes idèntiques connectades en paral·lel tenen una taxa de fallada constant i igual a 0,01 avaries/hora. Calcula:
  - a) la probabilitat de supervivència després de 100 hores de funcionament del conjunt.
  - b) la probabilitat de supervivència després de 100 hores de funcionament d'una sola de les vàlvules.
  - c) Quina conclusió obtens de comparar els dos valors obtinguts.

5. Tenim un sistema de tres elements que evolucionen respectivament amb taxes de fallada  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ , i  $\lambda_3$  constants i que estan connectats en paral·lel.



Suposem que les probabilitats de fallada són  $F_1$ ,  $F_2$  i  $F_3$  i que les probabilitats de supervivència són les funcions exponencials  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ .

Volem obtenir una fórmula per determinar el MTBF i per aconseguir-ho hem de seguir els passos següents:

- a) Determinarem:

$$R_T = 1 - F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$$

en funció de  $R_1$ ,  $R_2$  i  $R_3$ .

Només cal tenir present que  $R_i = 1 - F_i$  i substituir cada una d'aquestes expressions en la fórmula anterior.

- b) A continuació resoldrem

$$MTBF = \int_0^{\infty} R_T(t) dt$$

Només haurem de tenir present que les funcions de fiabilitat quan la taxa  $\lambda$  és constant són del tipus exponencial següent:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

La resolució d'aquesta integral ens donarà l'expressió de la mitjana de temps de bon funcionament MTBF.

- c) Prova que l'expressió corresponent al MTBF és:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_3} - \frac{1}{\lambda_2 + \lambda_3} + \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}$$

- d) Prova també que si els tres elements fossin idèntics i consegüentment les  $\lambda$  fossin idèntiques el resultat seria:

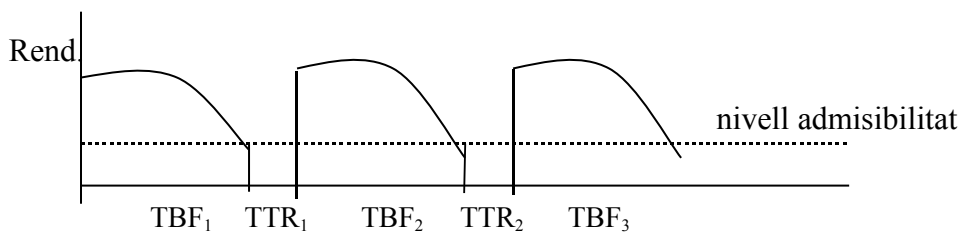
$$MTBF = \frac{11}{6\lambda}$$



### 6.13. MANTENIBILITAT

El concepte de fiabilitat que hem estudiat fins ara, tant per a l'estudi d'elements aïllats com per a sistemes complexos, té una àmplia aplicació en el cas d'elements no reparables o en el cas d'aquells elements que tenen un sol cicle de funcionament–fallada–reparació. Tanmateix, a les instal·lacions industrials sol ser habitual disposar d'aparells que al llarg de la seva vida tenen nombrosos cicles i, conseqüentment, són reparats en diverses ocasions. En aquests casos també és possible l'aplicació del concepte de fiabilitat però el seu càlcul matemàtic es complica considerablement de forma que resulta més senzill utilitzar altres conceptes com la **mantenibilitat** que està relacionada amb el temps necessari per a fer una reparació.

El funcionament d'un sistema teòric pot representar-se segons el gràfic següent:



Els TBF representen els temps de bon funcionament, mentre que els TTR són els temps tècnics de reparació. La fiabilitat es basava en els TBF, que era el temps transcorregut entre dos fallades successives, i en el seu desenvolupament s'empraven quatre funcions.

- taxa de fallada  $\lambda(t_i)$
- funció de probabilitat  $f(t_i)$
- funció de distribució  $F(t_i)$
- fiabilitat  $R(t_i)$

Si en lloc d'agafar com a base el TBF es fa servir el temps d'aturada per reparació anomenat temps tècnic de reparació TTR, aleshores es pot dur a terme un desenvolupament teòric similar al de la fiabilitat que denominarem **mantenibilitat**.

**Mantenibilitat:** És la probabilitat que un determinat sistema (element, màquina o conjunt de màquines) torni a funcionar després d'un període de temps determinat i amb unes determinades condicions de manteniment.

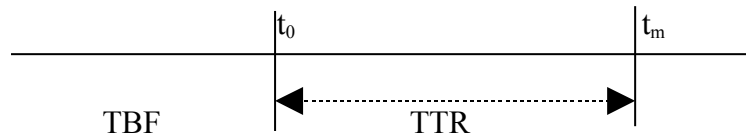
La mantenibilitat es designa amb la lletra M (de l'anglès *Maintenance*) i com es veu és una probabilitat, és a dir, es tracta d'un número menor que 1 i que depèn del temps, per la qual cosa podem afirmar que és una funció del temps:

$$0 < M(t) < 1$$

La definició de la mantenibilitat suposa tres condicions prèvies:

- a) Que s'ha fixat de manera clara **què vol dir que l'element funciona** i s'ha fixat prèviament quin és el límit admissible de deteriorament que permeti determinar el moment de la fallada.

b) Que s'ha definit l'interval de temps  $t_m$  en el que es vol que el sistema estigui reparat. Això vol dir que es coneixen els temps assignats a cada reparació



c) Que estan perfectament clars els mitjans de manteniment disponibles. Aquesta condició està directament lligada al temps assignat per a fer la reparació ja que no es podria precisar aquest sense tenir prèviament el **manteniment definit**.

Així,  $M(t) = P(TTR < t_m)$  representa la probabilitat que el sistema torni a funcionar a partir del temps  $t_m$  suposant que s'havia aturat en  $t_0$  per una fallada i tenint en compte els mitjans de manteniment disponibles.

Amb les condicions de funcionament definides i amb el manteniment prefixat, un valor  $M(t) = 0,7$  significa que la probabilitat que la reparació es realitzi en el termini de temps  $t$  és del 70%.

### Taxa de reparació

És un concepte anàleg a la taxa de fallada. La taxa de reparació és la relació entre el nombre de fallades i el temps de reparació d'aquestes.

$$\mu = \frac{\text{nombre de fallades}}{\text{durada de les reparacions}}$$

I de la mateixa manera que la taxa de fallada era la inversa del MTBF, la taxa de reparació serà inversa de la mitjana de temps tècnics de reparació (MTTR).

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

**Sol ser habitual considerar que la  $\mu$  és constant llevat que hi hagi estudis que provin el contrari.**

Això vol dir que la mantenibilitat serà habitualment una funció exponencial del tipus següent:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu \cdot t}$$

Si els estudis estadístics provessin que la taxa de reparació fos variable amb el temps  $\mu(t)$  aleshores el model matemàtic aplicable seria molt possiblement la llei normal.

La disponibilitat és un concepte relacionat amb la possibilitat d'utilització d'una instal·lació. Un material disponible és un material del que se'n pot fer ús. Això vol dir que la disponibilitat dependrà entre d'altres coses del nombre de fallades i de la rapidesa amb que aquestes són reparades.

La **disponibilitat** sol representar-se amb la lletra A (de l'anglès *Availability*) i pot ser interpretada de dues maneres:

a) Com un percentatge del temps de bon funcionament respecte del total:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

b) Com la probabilitat de bon funcionament d'un instant t. Així que un sistema tingui una disponibilitat de  $A(t) = 0,8$  vol dir que la probabilitat que aquest sistema tingui bon funcionament en l'instant t és del 80%.

Així, la disponibilitat instantània  $A(t)$  es pot calcular a partir de la taxa de fallada  $\lambda$  i de la taxa de reparació  $\mu$ .

$$A(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda) \cdot t}$$

El valor de la disponibilitat obtingut per aquesta fórmula coincideix amb el de la fórmula anterior en el cas que  $\lambda$  i  $\mu$  siguin constants i que es consideri t suficientment gran.

Així si  $\lambda$  i  $\mu$  són constant i  $t \rightarrow \infty$  aleshores:

$$A(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \cdot e^{-(\mu + \lambda) \cdot t} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{\frac{1}{MTTR}}{\frac{1}{MTTR} + \frac{1}{MTBF}} = \frac{MTBF}{MTTR + MTBF}$$

## ACTIVITATS

1) En una planta de tractament químic es vol aconseguir una disponibilitat del 0,95. S'ha estimat que el MTBF és de 3240 h. Quin valor ha de tenir el temps mitjà de reparació (MTTR)?

2) En una planta de producció de refrigerant 410A s'ha determinat la taxa de fallada  $\lambda = 0,0001$  avaries/hora i la taxa de reparació  $\mu = 0,5$  reparacions/hora. Determina la disponibilitat de la planta.

3) En una empresa de fabricació de ventiladors s'ha determinat que la taxa de reparació és constant  $\mu = 0,01$  reparacions/hora. Representa gràficament la funció de mantenibilitat i determina la probabilitat per una durada de reparació igual a 5 hores.

## EXERCICIS

- 1.- Una grup de pressió està format per dues bombes en sèrie. Hem determinat que el MTBF de la primera bomba és de 3000 hores i el de la segona és de 4500. Quin serà el MTBF del conjunt.
- 2.- Tres vàlvules estan connectades en sèrie de forma que si una d'elles falla es bloqueja el subministrament del fluid. Si les taxes de fallada són constants i valen respectivament 0,007, 0,005, 0,01 avaries/hora. Determina el MTBF del conjunt i la probabilitat de supervivència del conjunt al cap de 1000 hores.
- 3.- Quatre vàlvules estan connectades en sèrie i tenen una taxa de fallada de 0,005 avaries/hora cadascuna. Calcula:
  - c) La probabilitat de supervivència a les 1500 hores.
  - d) El MTBF del conjunt.
- 4.- Dues vàlvules connectades en paral·lel tenen unes taxes de fallada respectives de 0,005 i 0,003. Determina el MTBF del conjunt i la probabilitat de supervivència a les 1000 hores de funcionament.
- 5.- Dues bombes connectades en paral·lel tenen una taxa de fallada idèntica de 0,005 avaries/hora.
  - e) Quina és la probabilitat de fallada fins a les 2000 hores?
  - f) Quan valdrà el MTBF del conjunt.
- 6.- Tres bombes idèntiques connectades en paral·lel tenen una taxa de fallada constant i igual a 0,003 avaries/hora. Calcula:
  - g) la probabilitat de supervivència després de 100 hores de funcionament del conjunt.
  - h) la probabilitat de supervivència després de 100 hores de funcionament d'una sola de les vàlvules.
  - i) Quina conclusió obtens de comparar els dos valors obtinguts.
- 7.- En una planta de metal·lúrgica es vol aconseguir una disponibilitat del 0,85. S'ha estimat que el MTBF és de 2540 h. Quin valor ha de tenir el temps mitjà de reparació (MTTR)?
- 8.- En una planta de producció de refrigerant 407C s'ha determinat la taxa de fallada  $\lambda = 0,0004$  avaries/hora i la taxa de reparació  $\mu = 0,05$  reparacions/hora. Determina la disponibilitat de la planta.
- 9.- En una empresa de fabricació de ventiladors s'ha determinat que la taxa de reparació és constant  $\mu = 0,0031$  reparacions/hora. Representa gràficament la funció de mantenibilitat i determina la probabilitat per una durada de reparació igual a 7 hores.
- 10.- La capacitat d'una peça d'un vehicle per a mantenir la seva operativitat al llarg del temps pot representar-se per una distribució Weibull amb  $\eta = 120$  hores i  $\beta = 4,2$ . Si s'espantla, el temps de reemplaçament es pot representar també per una llei de Weibull de  $\eta = 3$  hores i  $\beta = 1,8$ . Determina la disponibilitat de la peça.

## 7. GESTIÓ D'ESTOCS

**7.1. Definició d'estoc:** Es coneix per estoc aquell producte que no es destina al consum immediat sinó que es reserva fins el moment que es necessiti.

En un sentit ampli un estoc o inventari és una reserva qualsevol no emprada que té valor econòmic. Es pot considerar dos tipus d'estoc:

- **estoc de productes tangibles:** són objectes com peces mecàniques, màquines, detergents etc.
- **estoc de productes intangibles:** són reserves d'hotels o d'agències de viatges, places d'una escola, etc. No són objectes materials sinó més aviat virtuals.

La imatge habitual d'un estoc, però, està lligada a un magatzem o a un espai físic on s'emmagatzemen objectes com a productes o components que es faran servir a mesura que es sol·licitin. Aquesta interpretació de l'estoc és la que resulta més interessant des del punt de vista de la indústria.

Els estocs no són exclusius d'un determinat sector productiu:

- En una farmàcia el venedor disposa d'unes existències de productes en funció de la demanda.
- En les botigues i grans superfícies comercials també emmagatzemen productes.
- Els fabricants d'automòbils disposen de vehicles de reserva.
- Les gasolineres disposen de combustible en cisternes.
- Les empreses elèctriques emmagatzemen energia en els pantans, tenen reserves de fuel i carbó. L'electricitat no s'emmagatzema sinó que es distribueix.

Els serveis, en canvi no són emmagatzemables:

- Les operacions quirúrgiques es realitzen quan el malalt la demanda, però no es poden emmagatzemar.
- Tampoc es pot emmagatzemar les classes, les conferències.
- Les companyies de transport, les línies aèries, el ferrocarril, els taxis ofereixen serveis que no es poden emmagatzemar.
- Tampoc es poden emmagatzemar els espectacles de teatre, música o cinema.
- Un restaurant, un hotel, una discoteca etc. ofereixen productes que tampoc es poden emmagatzemar.

No obstant això, en el sector serveis també hi ha estocs. Les operacions quirúrgiques no es poden emmagatzemar però per a realitzar-les cal instrumental mèdic. Els restaurants han de disposar d'aliments per servir els dinars. Els hotels han de tenir reserves de llençols i tovalloles etc.

### 7.2. Necessitat dels estocs

Darrerament s'ha posat de moda una doctrina que proposa l'estoc zero. És el cas de la política de Just a Temps (Just-in-time) que es basa en cinc regles:

- Zero defectes: qualitat total.
- Zero avaries: personal qualificat, avaries resoltes ràpidament.
- Zero estoc: el mínim d'estocs.
- Zero de temps mort: mínim de temps d'espera i preparació.
- Zero paper: mínima burocràcia.

La idea que hi ha darrere d'aquesta doctrina és correcta, però una visió superficial pot portar a conclusions equivocades. És evident que cal reduir al mínim els estocs però també és cert que eliminar l'estoc no és real i de vegades no és convenient.

L'estoc no és dolent per si mateix. Per a cada conjunt de circumstàncies, per a cada entorn, hi ha un nivell d'estoc adequat. Cal doncs fer-se dues preguntes:

- El nivell d'estocs és el més adequat a l'entorn actual?
- Es pot modificar l'entorn de manera que es redueixi l'estoc i en conjunt s'aconsegueixi una reducció de costos?

Una imatge que s'ha difós respecte a la gestió d'estocs és la d'un vaixell que navega en una zona d'esculls. El vaixell representa l'empresa, els esculls són els problemes no resolts (temps morts, avaries, retards, demanda inestable, formació, defectes rebuigs, etc.) L'estoc be representat pel nivell de l'aigua.

Es diu, aleshores que l'estoc amaga els problemes. Així doncs, si es baixa el nivell de l'aigua apareixeran els esculls. Si volem continuar navegant haurem d'esquivar els esculls o canviar de rumb. La part positiva és que els problemes sortiran a la llum i els podrem resoldre.

La proposició que sembla evident és la següent:

**L'existència de problemes no resolts en el sistema productiu obliga a que hi hagi estocs.**

El raonament a fer pot ser el següent:

- Si es redueixen els estocs es detectaran els problemes.
- Si eliminem els problemes passarem per un període inestable però al final assolirem una situació estable millor que l'anterior. La reducció d'estocs haurà permès completar un cicle de millora.
- No obstant hi ha el risc que no s'estigui en condicions de donar solució als problemes. Aleshores la reducció d'estocs pot ser una acció temerària.

Alguns exemples on el nivell d'estocs és necessari:

- Si un producte té una demanda molt alta en determinats mesos, la millor manera de fer front a aquesta situació és acumular estoc durant els mesos de demanda baixa.
- Una empresa fabricant d'equips de manutenció que garanteix un termini de lliurament de 24 hores. Com que el termini de fabricació i muntatge és molt superior, aleshores cal tenir en estoc productes acabats per satisfer els compromisos.
- Una fàbrica de pneumàtics que cada dia necessita un cert nombre de bobines de tela engomada de diferents amplades segons el tipus de pneumàtic. Aquestes bobines s'obtenen tallant una peça d'amplada superior.
  - Una opció és tallar just les bobines necessàries per a satisfer la demanda d'un dia i llençar la tela que sobra.
  - Una altra opció és tallar més bobines de les necessàries i així aprofitar el material per a un altre dia.
  - Quina de les dues opcions és la correcta? Dependrà de si el cost de l'estoc és inferior o superior al valor del material que es perd.
- Una cadena de muntatge. Entre tres estacions de treball consecutives hi pot haver o no espais intermedis o pulmons. L'estació primera s'alimenta de material cada vegada que ho necessita per a fer una operació, les altres dues estacions reben la peça en curs d'elaboració provinent de l'estació anterior. Si una estació no està lliure la peça queda fent cua en l'espai intermedi ( pulmó)

Però si no hi ha espai intermedi aleshores l'estació anterior queda bloquejada amb la peça.

- Quina és la solució millor, tenir espais intermedis o no tenir-ne? La resposta depèn de la demanda, del cost de les màquines, del cost dels espais intermedis, i del cost de la possessió d'estocs en curs.

### 7.3. Funció que exerceixen els estocs:

Si atenem a les funcions que pot exercir un estoc, aquest es pot classificar en les categories següents:

1. **Estoc de cicle:** Moltes vegades comprar o produir material al mateix ritme que és sol·licitat no és convenient. En moltes ocasions resulta més econòmic llençar una ordre de compra o de fabricació d'un volum superior a les necessitats del moment. Però això produeix un estoc.  
Cal tenir present que comprar molt significa sovint un estalvi ja que hi sol haver un descompte.
2. **Estoc estacional o d'anticipació:** Hi ha productes que presenten una demanda molt variada al llarg de l'any (exemple: begudes refrescants, gelats, roba de temporada, joguines, llibres de text, etc.) Per això, algunes empreses produeixen més del que necessiten per tal de cobrir la demanda futura. Aquests avançaments de la producció al consum dona lloc als estocs estacionals o d'anticipació. La seva funció és equilibrar i distribuir la producció en el temps per a fer front a les fluctuacions de la demanda.
3. **Estoc de seguretat:** Les variacions de la demanda no sempre són previsible. Si l'empresa té el desig de satisfer la demanda fins i tot quan aquesta superi les seves previsions, aleshores, haurà de disposar de reserves de productes per fer front a les peticions extremes.  
D'altra banda, si una empresa fa una comanda a algun dels seus proveïdors el lliurament no és immediat sinó que ha de passar un temps fins que aquest faci efectiva la comanda. Es l'anomenat termini de lliurament. Per fer front a aquests terminis resulta aconsellable disposar de reserves de material que serveixi de protecció durant aquest període. Així, els estocs de seguretat són les reserves que serveixen per a protegir el sistema productiu tant pel que fa a les variacions no previstes de la demanda dels clients com del subministrament dels proveïdors.
4. **Estoc de trànsit:** Per tal d'assolir un flux de materials ininterromput entre les fases d'un procés de producció cal disposar de reserves d'articles amb diferents graus d'elaboració. Aquestes reserves apareixeran en major o menor quantitat per facilitar el funcionament del sistema tant en els processos d'aprovisionament com en la fabricació i distribució. Entre dos llocs de treball adjacents d'una cadena de muntatge hi ha reserves de material.

En moltes ocasions un estoc pot tenir diverses funcions. Una part de les peces produïdes poden tenir la missió d'estoc de seguretat, mentre que d'altres són conseqüència del cicle de fabricació, o serveixen per fer front a la demanda estacional.

Hi ha una altra funció de l'estoc que no ha estat tractada aquí i és l'estoc per raons especulatives.

#### 7.4. Classificació dels estocs:

En un sistema de producció de bens es disposen de reserves de materials en diversos graus d'elaboració. Per això els estocs es poden classificar en:

1. **Matèries primeres:** Es tracta de tots els articles que l'empresa compra als proveïdors externs. Normalment es reserva el terme de matèries primeres a aquelles matèries que encara no han entrat al sistema productiu. (Per exemple: reserves d'acer, tubs, peces mecàniques, llet per a la fabricació de formatge, farina en pastisseria etc.)
2. **Components:** Són productes que també es compren a proveïdors externs però són articles que s'incorporen en operació sense suportar cap transformació. (Per exemple: articles del sector de l'automòbil, carburadors, radiadors, seients retrovisors, envasos, etiquetes de productes alimentaris, etc.)
3. **Obra en curs:** Són els materials que estan a l'espera de ser transformats o que experimenten una transformació.
4. **Productes semielaborats:** Són articles que han rebut part de les operacions de transformació però que encara no estan a punt per a la venda fins que tot el procés productiu s'hagi acomplert. A diferència dels materials en obra en curs, els semielaborats poden estar emmagatzemats esperant el moment de la seva utilització.
5. **Productes acabats:** Són els articles destinats a satisfer directament el consumidor o l'empresa que els requereix.
6. **Subproductes:** També són productes finals però tenen un caràcter accessori o secundari respecte a la fabricació dominant.
7. **Recanvis i subministraments:** Són materials que es consumeixen però que no es fan servir en el procés productiu. (Exemple, combustible, eines, ordinadors, disquets, elements de les oficines, etc.)
8. **Envasos i embalatges:** Són els elements que es fan servir per a transportar el producte. ( Per exemple: capsas, ampolles, contenidors, etc.)

#### ACTIVITAT:

“MESA S.A. és una empresa que fa taules a mida, per això compra troncs de fusta, claus i cola. La marca distintiva de la casa és en els embalatges dels productes, els quals sempre són vermells. El procés de producció es detalla a continuació.

- La fusta arriba a la fàbrica i es talla d'acord amb la longitud de la taula; si en sobra algun tros massa petit, se'n tallen tacs per a assegurar la taula. Per una altra banda es talla una altra porció de la fusta per a fer les potes.
- Les planxes s'encolen per a formar la part de sobre de la taula i es tornegen les peces que faran de potes. Totes aquestes parts es poleixen.
- Es claven les planxes i les potes i s'assegura bé amb els tacs.
- S'envernissa la taula”.

Identifica els elements que formen part de cada possible estoc.:

- 1) Matèries primeres. 2) Components, 3) Obra en curs, 4) Productes semielaborats, 5) Productes acabats, 6) Subproductes, 7) Recanvis i subministraments, 8) Envasos i embalatges.

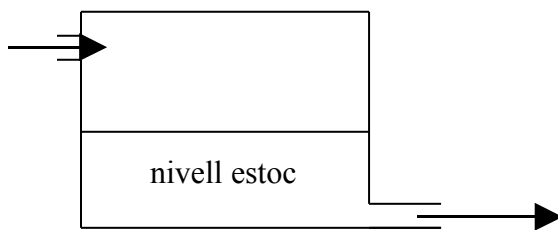


## L'analogia hidràulica

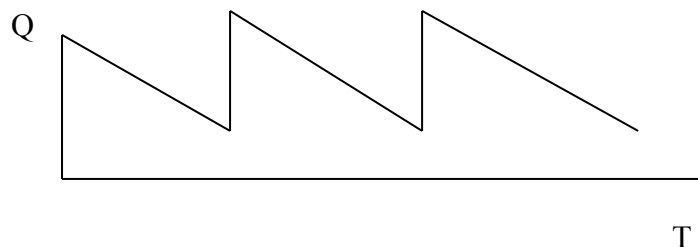
Per comprendre el fenomen dels estocs se sol posar el símil del dipòsit d'aigua. Suposarem que tenim un dipòsit d'aigua que té una entrada i una sortida. L'aigua té un nivell determinat. Aleshores podem pensar que:

- El nivell d'estoc = al nivell de l'aigua
- El ritme d'entrada d'un producte = al cabal d'entrada
- La taxa de demanda del producte = al cabal de sortida.

Així, per mantenir el nivell del dipòsit constant solament cal que el cabal d'entrada sigui igual al cabal de sortida. En l'analogia, el ritme d'entrada del producte ha de ser igual a la taxa de demanda.



Mantenir un nivell d'estoc constant no sempre és possible, ni sempre és desitjable. No sempre convé fer les ordres d'aprovisionament al mateix ritme que la demanda. De vegades és preferible que l'aprovisionament es faci de manera intermitent de manera que el perfil del nivell d'estoc seria el d'una dent de serra.



Cal tenir present que establir amb anterioritat la demanda és molt difícil i ens donarem per satisfets si aconseguim:

- a) que les desviacions sobre la demanda prevista siguin mínimes, per a no tenir un estoc excessiu.
- b) que no es produeixi una ruptura d'estoc (que ens quedem sense estoc) perquè puguem assegurar el subministrament als nostres clients.

## 7.5. Factors que intervenen en la gestió d'estocs

La gestió d'estocs comprèn un conjunt d'accions i decisions orientades a minimitzar els costos. La seva missió serà respondre a les preguntes següents:

- a) Amb quina freqüència cal determinar les reserves d'un article?
- b) Quan s'ha de llençar una comanda o una ordre de fabricació d'un article?
- c) Quina quantitat cal sol·licitar cada cop que es llença una ordre?

Per això cal tenir en compte els factors que intervenen en l'estoc, que són:

- La demanda
- Els costos
- El sistema d'informació
- Els terminis
- Els mètodes d'aprovisionament.

**1. Demanda:** L'evolució dels estocs està condicionada per la demanda d'aquest article. Si la demanda fluctua també es produiran oscil·lacions importants en el nivell d'estocs. Així, doncs, una demanda variable fa aparèixer els estocs estacionals. La demanda es pot qualificar de les maneres següents:

- **Continua o discreta:** Segons sigui la unitat de mesura de la demanda (unitats, quilograms, caixes, càrregues d'un contenidor, etc.)
- **Determinista o probabilista:** Segons es conegui la demanda futura o s'hagi de suposar probabilísticament.
- **Dependent o independent:** La demanda dels components depèn de la demanda dels productes finals. La demanda dels productes finals és independent.
- **Homogènia o heterogènia:** Direm que la demanda és homogènia en el temps quan té una taxa constant. És  $d$  per a un període  $T$  i  $2d$  per a un període  $2T$ . En cas contrari direm que és heterogènia.
- **Diferida o perduda:** Una demanda és diferida sinó satisfà la demanda i per això s'ajorna el lliurament. En canvi si es perd definitivament direm que és demanda perduda. En els dos casos la demanda insatisfeta dona lloc a una ruptura d'estoc.

**2. Costos:** La constitució d'un estoc significa uns costos. Aquests costos poden ser de tres tipus: d'adquisició, de possessió o de demanda insatisfeta.

- **Costos d'adquisició:** Són els costos que tenen lloc cada vegada que es fa una comanda d'un article. Aquests costos es componen d'una part fixa: Cost de llançament, i una part variable: Cost variable d'adquisició.
  - **Cost de llançament  $C_L$ :** fa referència a la compra de material a un proveïdor extern i són les despeses fixes que no depenen del nombre de peces comprades: feina administrativa, telèfon, costos de preparació de la comanda, posada a punt de les màquines. Es mesura en euros/comanda.
  - **Cost variable d'adquisició  $C_A$ :** resulta de multiplicar el nombre d'articles pel valor unitari de cada article. Es mesura en euros/unitat.
- **Cost de possessió:** Aquí s'inclouen tots aquells conceptes de cost degut al fet d'haver de mantenir una determinada quantitat d'un article en estoc (magatzem, vigilància, assegurances, desgast, cost d'oportunitat o diners que es deixa de guanyar per mantenir immobilitzat el producte, etc.). Sovint aquest cost de possessió s'expressa com el producte del cost unitari d'adquisició  $C_A$  multiplicat per una taxa que pot tenir en compte el cost de manteniment, la rendibilitat que l'empresa podria aconseguir en una

inversió alternativa i estarà delimitada pel tipus d'interès preferent  $i$ . Així  $C_p = i \cdot C_A$

- **Cost per demanda insatisfeta:** Aquest cost apareix quan no es pot atendre la demanda degut a que no hi ha existències (ruptura d'estocs). Hi ha dos tipus de demanda insatisfeta: diferida i perduda. Aquestes dues opcions donen lloc a dos tipus de costos: el cost de diferir  $C_D$  i el cost de ruptura  $C_R$ . Aquests dos costos són molt difícils de calcular ja que es mesuren qüestions intangibles com la pèrdua de vendes futures.

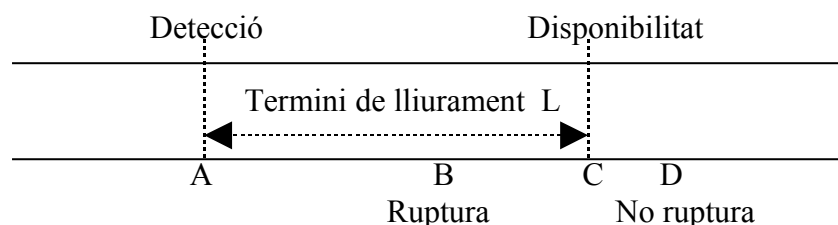
**3. El sistema d'informació:** En la gestió d'estocs no sols cal conèixer la demanda sinó que cal saber també quina és la situació de l'estoc és a dir saber quines existències es disposen. És necessari que hi hagi un sistema d'informació que realitzi revisions periòdiques de les existències i que ens permeti saber quin és el nivell d'estoc disponible.

Hi ha dos tipus de sistemes d'informació:

- **Sistema de revisió contínua:** El nivell d'existències és conegut en tot moment. Cal mantenir una vigilància permanent registrant totes les entrades i sortides.
- **Sistema de revisió periòdica:** El nivell d'estocs sols es coneix en uns instants concrets separats en el temps pel que s'anomena període de revisió  $T$  (Per exemple es fa una revisió dels estocs cada tres mesos).  
La tendència actual és incorporar sistemes de revisió d'estocs continuada amb l'ajut de l'ordinador.

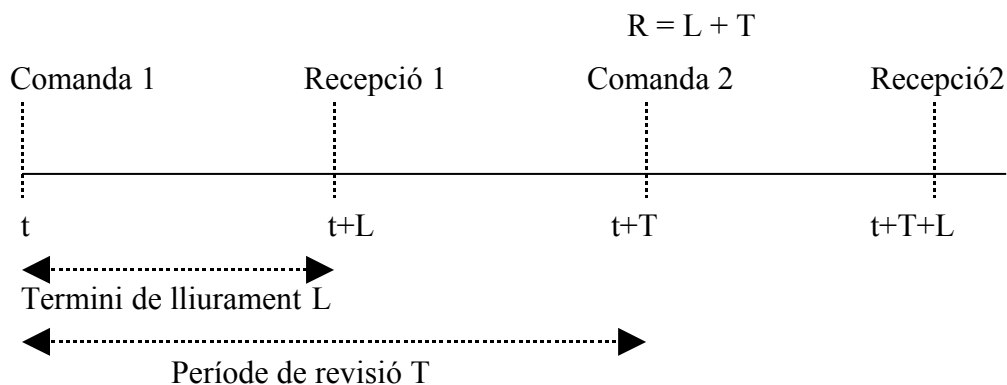
**4. Terminis:** Un dels aspectes més importants de la gestió d'estoc són els terminis que hi ha entre l'emissió de les ordres i la recepció del material. Aquests terminis són de dos tipus: termini de lliurament i termini de reaprovisionament.

- **El termini de lliurament  $L$ :** És el temps que passa entre la detecció de la necessitat de fer una comanda i l'instant en què el material corresponent està a punt per a l'ús.



El desconeixement del termini de lliurament pot donar lloc a situacions com les del dibuix. En A s'ha detectat la necessitat de material, es llança una ordre i aquesta està disponible en C. Si la necessitat real de material té lloc en B aleshores es produirà una ruptura d'estocs. Si, en canvi, la necessitat real es produeix a D aleshores s'haurà produït un avançament. Una correcta gestió d'estocs hauria d'evitar les dues situacions.

- **El termini de reaprovisionament R:** És el temps en què només es disposa de les existències per fer front a una possible ruptura d'estocs.
  - Si el sistema de revisió és continuada aleshores el termini de reaprovisionament coincideix amb el termini de lliurament
 
$$R = L$$
  - Si el sistema de revisió és periòdica aleshores el termini de reaprovisionament és igual al termini de lliurament més el període de revisió:



Aquest gràfic mostra que en l'instant  $t$  s'ha fet una revisió d'estocs i s'ha ordenat una comanda. Aquesta comanda no arribarà fins a l'instant  $t+L$ . Aquesta comanda ha de ser suficient fins a la recepció de la segona comanda cosa que no tindrà lloc fins a l'instant  $t+T+L$ . És a dir que  $L+T$  és el període en què el sistema estarà desprotegit contra les ruptures. Això vol dir que haurem de dimensionar la primera comanda perquè garanteixi la demanda en tot aquest temps.

## 5. Mètodes d'aprovisionament

Normalment una política d'estocs ha de permetre de definir :

- Quan s'ha de sol·licitar material: Hi ha dues maneres de calcular aquest moment
  1. **Establir el punt de comanda ( $s$ ):** Consisteix a fixar un nivell de referència de l'estoc que permeti establir el moment en què s'ha de sol·licitar el material. Aleshores just en el moment en què l'estoc estigui lleugerament per sota d'aquest nivell s'envia l'ordre de sol·licitud .
  2. **Fixar un període de revisió ( $T$ ):** Consisteix a fixar uns terminis equidistants de temps d'igual durada o de durada variable però que estiguin prèviament programats.
- Quina quantitat de material s'ha de demanar: Hi ha dues opcions:
  1. Sol·licitar la **mida de lot ( $Q$ ):** Que consisteix a demanar una quantitat fixa determinada.

2. Sol·licitar la diferència entre l'estoc i la **cobertura (S)**:  
Que consisteix a demanar solament la diferència entre un valor fix  $S$  i la posició de l'estoc.

Una bona política de gestió d'estocs ha de permetre determinar dos valors **Quan i quant**. Així doncs una política  $(s, Q)$  serà una política on es llança una ordre de mida de lot fixa  $Q$  i cada vegada que la posició de l'estoc estigui per sota de  $s$  unitats.

#### ACTIVITAT:

1. Sabries especificar quin tipus de política correspon a els parells de valors següents:

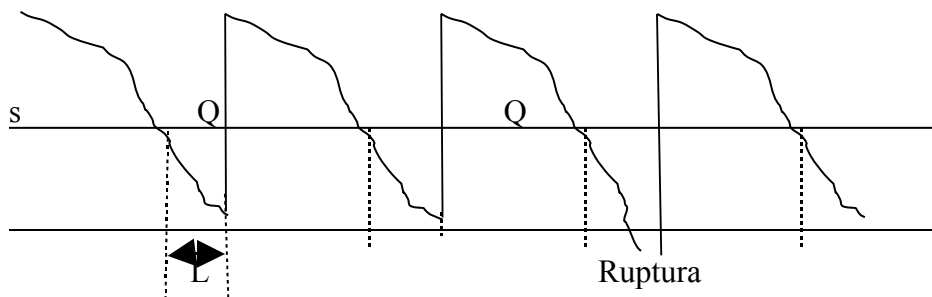
- a) Una política  $(T, S)$
- b) Una política  $(s, S)$
- c) una política  $(T, Q)$

**7.6. Mètode d'aprovisionament:** és una política de gestió establerta amb el suport d'un sistema d'informació i revisió. Els mètodes d'aprovisionament tradicionals són:

- Mètode del punt de comanda amb revisió contínua:
- Mètode d'aprovisionament periòdic amb revisió periòdica.

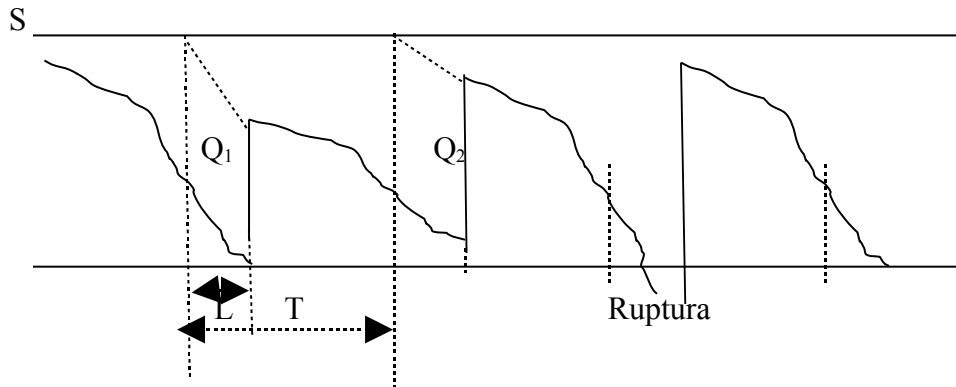
#### Mètode del punt de comanda amb revisió continuada.

Aquest mètode es basa en la parella  $(s, Q)$  i requereix saber la posició de l'estoc en tot moment. Així quan, a causa del consum, la posició d'estoc arriba a un nivell  $s$  que hem anomenat **punt de comanda** aleshores s'emeta l'ordre de mida fixa  $Q$  que rep el nom de **lot econòmic**. Aquest lot es representarà per  $Q^*$  quan s'hagi aconseguit de minimitzar els cost de gestió.



#### Mètode d'aprovisionament periòdic amb revisió periòdica.

Aquest mètode es basa en la parella  $(T, S)$  i requereix que les revisions es facin en instants concrets separats l'un de l'altre per un temps constant que s'anomena **període de revisió  $T$** . Després de la revisió, es llança l'ordre de comanda la quantitat de la qual es determina per mitjà de diferència entre la cobertura  $S$  i la posició de l'estoc. Aleshores els lots a sol·licitar seran diferents  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots$ . Cal recordar però que, en tots dos mètodes entre l'enviament de l'ordre i l'arribada del lot hi ha un interval  $L$  anomenat **termini de lliurament**. Aquest termini cal tenir-lo present per evitar les ruptures d'estoc.



### Selecció dels articles objecte d'estoc.

No tots els articles que fa servir una empresa requereixen el mateix nivell de gestió d'estocs. Cal, doncs, classificar primer els articles en funció de diversos criteris com:

- Valor de la demanda actual
- Importància de l'article en el procés productiu
- Preu de l'article
- Dificultat d'aprovisionament
- Estabilitat de la demanda al llarg del temps.

El procediment més habitual consisteix en una classificació ABC que es basa en el diagrama de Pareto. Com ja sabem aquest diagrama es basa en el principi que un petit percentatge d'articles en estoc representa la major part del valor monetari de la demanda total mentre que hi ha un gran percentatge d'articles que fan una contribució molt petita en termes monetària.

La classificació ABC estableix tres tipus d'articles:

- A, els més importants
- B, els d'importància mitjana
- C, els de poca importància

El procediment és el següent:

1. Ordenar tots els productes implicats en la gestió d'estocs segons ordre decreixent d'algun criteri (p.ex. valor monetari).
2. Dibuixa una corba de Pareto posant en abscisses els articles i en ordenades el percentatge acumulat de valor monetari.
  - La classe A estarà formada pels articles els percentatge de valor monetari dels quals estigui al voltant del 60%
  - La classe B estarà formada pels articles els percentatge de valor monetari dels quals estigui al voltant del 90%
  - La classe C estarà formada per la resta d'articles.

Solament aplicarem els mètodes de gestió d'estocs a aquells articles que pertanyin a la classe A.

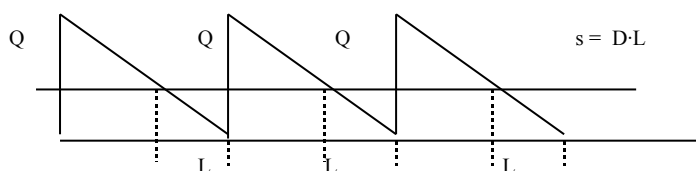
## 7.7. Model de Harris-Wilson

Aquest és un model bàsic d'estoc que permet determinar el lot econòmic. Les característiques del model són les següents:

- És considera que el procés que afecta la gestió d'estocs continuarà indefinidament.
- La demanda ha de ser coneguda, continuada i homogènia. Això vol dir que si es consumeix en un any  $D$  unitats això significarà que cada més es consumirà  $D/12$  i en un dia  $D/365$ .
- El termini de lliurament  $L$  és conegut i constant.
- No es permeten les ruptures d'estocs.
- El cost variable d'adquisició  $C_A$  no depèn de la mida del lot i és constant.
- El lot entra en el sistema un cop acabat el termini de lliurament, sense cap demora addicional.
- Es té en compte un cost de llançament  $C_L$  (euros/comanda) i un cost de possessió d'estoc  $C_P$  (euros/unitat i any).

En aquestes condicions el més còmode és organitzar les comandes de forma que el lot entri quan el nivell d'estoc és zero. Així, les comandes s'han d'ordenar quan el nivell d'estoc sigui el mínim imprescindible per satisfer la demanda en el termini de lliurament  $L$ . El punt de demanda ha de ser  $s = D \cdot L$ .

Donat que els paràmetres del model es mantenen constants al llarg del temps, tots els lots han de tenir la mateixa mida. Per això, l'evolució de l'estoc adoptarà la forma d'una dent de serra.

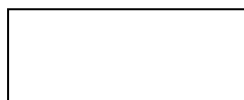


En aquest model es tenen en compte tres costos:

- **Cost de llançament  $C_L$ .**
- **Cost variable d'adquisició  $C_A$**
- **Cost de possessió  $C_P$ .**

### **Nombre de comandes a fer en un any (N):**

Suposem que la demanda anual és  $D$  i que totes les comandes tenen el mateix volum  $Q$ . Aleshores el nombre de comandes  $N$  a fer en un any serà s'obindrà dividint la demanda anual pel volum de cada demanda. Aquest paràmetre es coneix també com **frequència de reaprovisionament**



$$N = \frac{D}{Q}$$

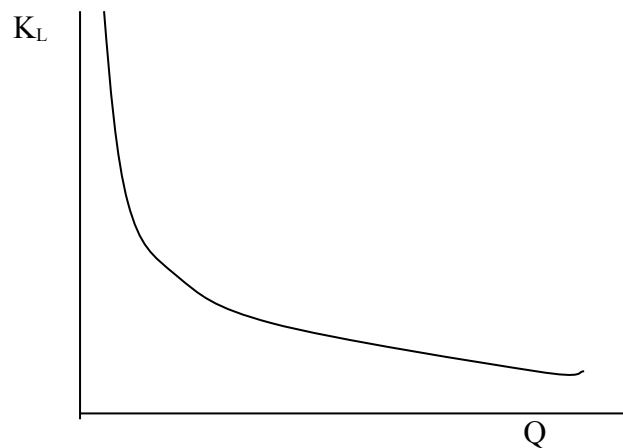
**Temps del cicle d'aprovisionament ( $T_C$ ):** és el temps que transcorre entre dues entrades consecutives. Es tracta del temps d'un cicle i, també, del temps que hi ha entre dos nivells idèntics d'estoc. S'obté fent l'invers de la freqüència d'aprovisionament

$$T_C = \frac{1}{N} = \frac{Q}{D}$$

**Cost anual de llançament ( $K_L$ ):** Si el cost de llançar una comanda és  $C_L$  (euros/comanda) i el nombre de comandes a l'any són  $N$ , el cost anual de llançament serà:

$$K_L = C_L \cdot N = C_L \cdot \frac{D}{Q}$$

Aquest cost  $K_L$  es pot representar gràficament en funció de la mida del lot obtenint-se una hipèrbola equilàtera de forma que per valors majors de  $Q$  s'obtenen valors menors de  $K_L$ .



Aquesta gràfica indica que si els lots són molt grans i en conseqüència se'n faran poques comandes a l'any, el cost de llançament serà petit, en canvi si els lots són petits i se'n fan poc a l'any, aleshores el cost de llançament serà molt important.

**Cost anual variable d'adquisició ( $K_A$ ):** Com que el cost variable d'adquisició depèn de les unitats sol·licitades i aquestes coincideixen amb la demanda  $D$  que és coneguda des del principi, aleshores, el cost anual serà:



$$K_A = C_A \cdot D$$

En les condicions del model Harris-Wilson aquest valor és constant.

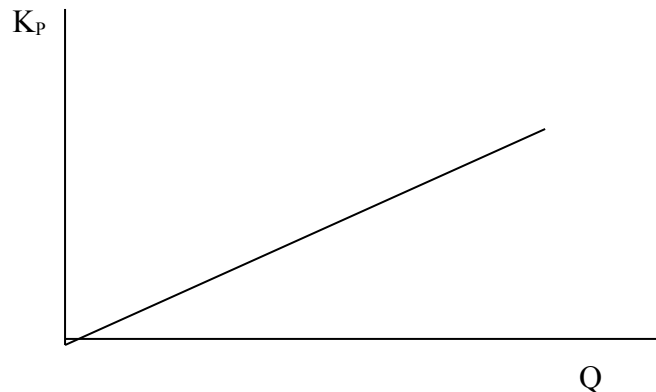
**Cost anual de possessió d'estoc ( $K_P$ ):**

El cost de possessió d'estoc està relacionat amb el nivell mitjà d'estoc. En aquest model l'estoc evoluciona de  $Q$  al no res ( $0$ ) conseqüentment l'estoc mitjà serà  $\frac{Q}{2}$ .

Així els cost anual de possessió serà:

$$K_P = C_P \cdot \frac{Q}{2}$$

La representació gràfica del cost anual de possessió d'estoc en funció de  $Q$  serà una línia recta de pendent igual a la meitat del cost de possessió  $\frac{C_P}{2}$ .



Així doncs, a mesura que augmenta la mida del lot també augmenta el cost anual de possessió.

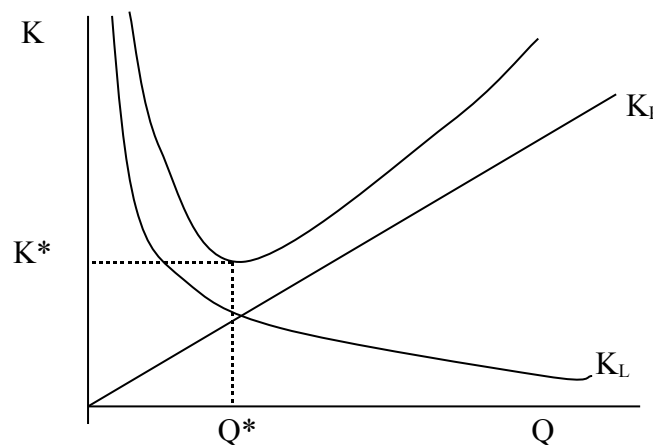
**Cost total anual d'estoc:** El cost total serà la suma dels tres costos anteriors:

$$K = K_L + K_A + K_P = C_L \cdot \frac{D}{Q} + C_A \cdot D + C_P \cdot \frac{Q}{2}$$

En el model que estem estudiant els únics costos rellevants són els de lliurament i els de possessió. El cost anual variable d'adquisició no influirà en la decisió que es prengui sobre la mida del lot o el termini atès que no depèn d'aquestes variables. Per això el cost total anual es pot considerar compost solament de dos termes:

$$K = K_L + K_P = C_L \cdot \frac{D}{Q} + C_P \cdot \frac{Q}{2}$$

La representació gràfica dels costos donaria una corba com la següent:



Com es pot veure aquesta gràfica té un mínim que correspon al **lot econòmic** \$Q^\*\$ i un **cost mínim** \$K^\*\$ associat a una mida de lot òptima.

Per obtenir aquest valor de \$Q^\*\$ cal derivar la funció \$K = C\_L \cdot \frac{D}{Q} + C\_P \cdot \frac{Q}{2}\$ respecte a la variable \$Q\$ i igualarem la derivada a zero per tal d'aconseguir el valor de \$Q\$ mínim que és el lot econòmic \$Q^\*\$.

$$\frac{dK}{dQ} = -C_L \cdot \frac{D}{Q^2} + \frac{C_P}{2} = 0$$

D'aquí s'obté que:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_L \cdot D}{C_P}}$$

Aquesta fórmula es coneguda com la **fórmula del lot econòmic o de Harris-Wilson**

## ACTIVITATS

A) La Bona Teca és un restaurant que està obert tot l'any. A la carta de vins s'ofereix un vi negre especial que el propietari compra a un celler de prestigi reconegut situat a 30 km de distància al preu de 10 euros. El propietari del restaurant quan detecta que no hi ha gaires existències envia una furgoneta que li permet carregar 2000 ampolles i que li representa un cost de transport de 60 euros per

viatge. La demanda de vi negre és molt regular, de manera que els clients consumeixen unes 100 ampolles al mes tant si és estiu com si és hivern. El cost d'oportunitat del diner és del 5% anual.

1. A partir de les dades de l'enunciat digués quin és el valor de:

- a) Cost d'adquisició  $C_A$
- b) Cost de lliurament  $C_L$
- c) Quantitat màxima  $Q$
- d) Demanda  $D$
- e) Cost de possessió  $C_P$

2. Determina :

- a) El nombre de comandes a fer en un any  $N$

$$N = \frac{D}{Q}$$

- b) El temps del cicle d'aprovisionament  $T_C$

$$T_C = \frac{1}{N} = \frac{Q}{D}$$

- c) El cost anual de llançament  $K_L$

$$K_L = C_L \cdot \frac{D}{Q}$$

- d) El cost anual de possessió  $K_P$

$$K_P = C_P \cdot \frac{Q}{2}$$

- e) El cost total  $K$

$$K = K_L + K_A + K_P = C_L \cdot \frac{D}{Q} + C_A \cdot D + C_P \cdot \frac{Q}{2}$$

3. Amb aquestes condicions determina:

- a) El lot econòmic  $Q^*$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_L \cdot D}{C_P}}$$

- b) El cost mínim associat  $K^*$

$$K^* = C_L \cdot \frac{D}{Q^*} + C_A \cdot D + C_P \cdot \frac{Q^*}{2}$$

- c) L'estalvi que s'obté de seguir aquest mètode

$$E = K - K^*$$

- d) Els terminis d'aprovisionament que haurà de fer.

$$T_C = \frac{Q^*}{D}$$

B) CLIMENGINY és una enginyeria que realitza projectes d'instal·lacions de climatització en edificis. El director comercial adquireix el tub de coure amb rotlles de 15,24 m a un preu de 1,3 euros el metre. Aquest preu el pot aconseguir ja que disposa d'un gran magatzem i per això fa unes comandes de 300 rotlles amb uns camions que li comporten unes despeses de 600 euros per viatge. La demanda de tub

de coure és molt regular i sol ser de 2 rotlles per mes. El cost d'oportunitat del diner és de 10%.

1. A partir de les dades de l'enunciat digués quin és el valor de:

- a) Cost d'adquisició  $C_A$
- b) Cost de lliurament  $C_L$
- c) Quantitat màxima  $Q$
- d) Demanda  $D$
- e) Cost de possessió  $C_P$

2. Determina :

- f) El nombre de comandes a fer en un any  $N$
- g) El temps del cicle d'aprovisionament  $T_C$
- h) El cost anual de llançament  $K_L$
- i) El cost anual de possessió  $K_P$
- j) El cost total  $K$

3. Amb aquestes condicions determina:

- f) El lot econòmic  $Q^*$
- g) El cost mínim associat  $K^*$
- h) L'estalvi que s'obté de seguir aquest mètode

Els terminis d'aprovisionament que haurà de fer.

## 7.8 Avantatges dels grans magatzems

En l'apartat anterior hem vist que el lot mínim és  $Q^*$  i el cost mínim associat és  $K^*$ .

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_L \cdot D}{C_P}}$$
$$K^* = C_L \cdot \frac{D}{Q^*} + C_P \cdot \frac{Q^*}{2}$$

Si substituïm  $Q^*$  en  $K^*$  obtenim la fórmula següent:

$$K^* = \sqrt{2 \cdot C_L \cdot C_P \cdot D}$$

Suposarem que dos empresaris A i B tenen la mateixa demanda  $D$  i els mateixos costos  $C_L$  i  $C_P$ . Els  $K^*$  seran igual per tots dos.

$$K_A = \sqrt{2 \cdot C_L \cdot C_P \cdot D}$$
$$K_B = \sqrt{2 \cdot C_L \cdot C_P \cdot D}$$

Considerats en conjunt faran

$$K_{A+B} = 2K^* = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot C_L \cdot C_P \cdot D}$$

Ara bé si decideixen de gestionar conjuntament els seus estocs. Aleshores la  $K$  corresponent serà la d'una empresa que tingui una demanda doble  $2D$  i es podrà calcular amb la fórmula:

$$K_{AB} = \sqrt{2 \cdot C_L \cdot C_P \cdot (2D)}$$

El resultat és evidentment favorable.

**Observis que si la demanda és  $D$  i el cost és  $K$ , una demanda  $n \cdot D$  estarà associada a un cost  $\sqrt{n} \cdot K$**

A més el fet de treballar conjuntament comportarà una reducció del nivell mitjà d'estoc ja que si abans teníem  $Q^*$  estocs per cada un i la suma era el doble.

$$Q_{A+B}^* = 2 \sqrt{\frac{2 \cdot C_L \cdot D}{C_P}}$$

Ara en tindrem per tots dos :

$$Q_{AB}^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_L \cdot (2D)}{C_P}} = \frac{\sqrt{2}}{2} Q_{A+B}^*$$

**Observis que si la demanda és  $D$  i el nivell d'estoc és  $Q^*$  aleshores una demanda  $n \cdot D$  estarà associada a un nivell d'estoc de  $\frac{\sqrt{n}}{n} Q^*$**

### ACTIVITAT

1. Dos majoristes de teles A i B tenen els seus respectius magatzems situats un a prop de l'altre. La demanda d'un determinat article és idèntica per tots dos  $D=100.000$  unitats any; les vendes es poden considerar homogènies en el temps. Els costos de llançament i possessió de l'article també són iguals  $C_L= 120$  euros/comanda i  $C_P= 6$  euros/unitat. En aquestes condicions:

- a) Quin estalvi global podrien aconseguir els majoristes si decidissin d'optimitzar conjuntament el costos de gestió dels estocs?
- b) Quina seria la reducció del nivell d'estocs?

2. Dos majoristes de productes d'aire condicionat tenen els seus respectius magatzems situats un a prop de l'altre. La demanda d'un determinat article és idèntica per tots dos  $D=2.500$  unitats any; les vendes es poden considerar homogènies en el temps. Els costos de llançament i possessió de l'article també són iguals  $C_L= 350$  euros/comanda i  $C_P= 500$  euros/unitat. En aquestes condicions:

- a) Quin estalvi global podrien aconseguir els majoristes si decidissin d'optimitzar conjuntament el costos de gestió dels estocs?
- b) Quina seria la reducció del nivell d'estocs?

## 7.9 Descomptes per comprar a l'engròs

Habitualment per la compra de grans quantitats s'aconsegueix un descompte substanciós. El muntant del descompte s'ha de tenir present tant per determinar la quantitat que s'ha de comprar com per decidir en quin moment s'ha de fer la comanda.

Hi ha dos tipus de descomptes:

- **Descomptes uniformes:** consisteix a fer una rebaixa sobre el preu de totes les unitats en funció dels trams de quantitats adquirits. Per exemple:

<i>Quantitat</i>	<i>Preu unitari (euros/unitat)</i>
0 –1.000	60 euros
1.001-2.000	50 euros
2.001-3.000	40 euros
més de 3.000	35 euros

Així doncs comprar 1.500 unitats costaria  $1.500 \cdot 50 = 75.000$  euros.

- **Descomptes graduals:** També s'anomenen descomptes incrementals i consisteixen a que no s'aplica la mateixa rebaixa a totes les unitats sinó que les unitats de trams diferents tenen preus diferents.

<i>Quantitat</i>	<i>Preu unitari (euros/unitat)</i>
0 –1.000	60 euros
1.001-2.000	1.000 unitats a 60 euros. La resta a 50 euros
2.001-3.000	1.000 unitats a 60 euros. De 1000 a 2000 a 50 euros La resta a 40 euros
més de 3.000	1.000 unitats a 60 euros. De 1000 a 2000 a 50 euros De 2000 a 3000 a 40 euros. La resta a 35 euros

Així doncs si aquí es vol comprar 2.500 unitats aleshores haurem de pagar  $1.000 \cdot 60 + 1.000 \cdot 50 + 500 \cdot 40 = 130.000$  euros.

### ACTIVITAT

1. Un fabricant de motocicletes necessita 100.000 unitats d'un component. Aquesta demanda es distribueix de manera uniforme al llarg de l'any. Cada vegada que llança una comanda té un cost fix de 50 euros i ha estimat que la taxa de manteniment d'inventari és a la ratlla del 40%. El proveïdor ofereix al nostre fabricant un pla de descompte uniforme que es resumeix a la taula següent:

<i>Quantitat</i>	<i>Preu unitari (euros/unitat)</i>
0 –9.999	60 euros
10.000-24.999	58 euros
25.000-49.999	57 euros

més de 50.000	55 euros
---------------	----------

Quina serà la mida de lot més adequada i quants reaprovisionaments haurà de fer al llarg de l'any?

S'aconsella seguir els passos següents:

a) A partir de la lectura de l'enunciat digués, per a cada tram, quins són els valors de:

- Cost d'adquisició  $C_A$
- Cost de llançament  $C_L$
- Cost de possessió  $C_P = i \cdot C_A$  (considera  $i$  = taxa de manteniment d'inventari)
- Demanda  $D$ =

Omple la taula següent amb els valors calculats:

<b>Quantitat</b>	<b><math>C_A</math></b>	<b><math>C_L</math></b>	<b><math>C_P</math></b>
0 -9.999			
10.000-24.999			
25.000-49.999			
més de 50.000			

b) Cada tram té associat una mida de lot mínima:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_L \cdot D}{C_P}}$$

i un cost total que en aquest cas el considerarem compost de tres termes: cost total de llançament, cost global d'adquisició i cost global de possessió (o de manteniment d'inventari). En aquest cas cal considerar el cost d'adquisició ja que no és constant sinó que varia segons els trams.

$$K^* = K_L + K_A + K_P = C_L \cdot \frac{D}{Q} + C_A \cdot D + C_P \cdot \frac{Q}{2}$$

Calcula per a cada tram els valors de  $Q^*$  i  $K^*$  i omple la taula amb aquests valors.

<b>Quantitat</b>	<b><math>Q^*</math></b>	<b><math>K^*</math></b>
0 -9.999		
10.000-24.999		
25.000-49.999		
més de 50.000		

c) Si tenim en compte que el lot òptim serà el que tingui un cost menor, quina serà la millor decisió?

d) Un cop determinat  $Q^*$ , el nombre de reaprovisionaments es pot determinar per l'expressió:

$$N = \frac{D}{Q}$$



2. La casa PEDRA és un fabricant de màquines frigorífiques i necessita 5.000 compressors per any. Aquesta demanda es distribueix de manera uniforme al llarg de l'any. Cada vegada que llança una comanda té un cost fix de 30 euros i ha estimat que la taxa de manteniment d'inventari és a la ratlla del 20%. El proveïdor ofereix al nostre fabricant un pla de descompte uniforme que es resumeix a la taula següent:

<i>Quantitat</i>	<i>Preu unitari (euros/unitat)</i>
0 –1.000	60 euros
1.001-2.000	50 euros
2.001-3.000	40 euros
més de 3.000	35 euros

Quina serà la mida de lot més adequada i quants reaprovisionaments haurà de fer al llarg de l'any?

## 7.10 Demanda insatisfeta

Fins ara hem comentat que sempre calia satisfer la demanda i per això, tots els models que hem estudiat no tenien en compte el cas que en algun moment no disposéssim d'existències i es produís una ruptura d'estocs.

Hi ha dos tipus de ruptura d'estocs:

- **Demanda insatisfeta diferida:** que es produeix quan la quantitat no servida pot ser lliurada amb un cert retard
- **Demanda insatisfeta perduda:** que té lloc quan la demanda no es pot satisfer i es perd definitivament.

Les dues situacions pressuposen que es tingui un coneixement dels costos que comporta no servir el que es sol·licita, malgrat que aquesta valoració no resulta gens fàcil de determinar. Els costos que les dues demandes insatisfetes generen són difícils de mesurar degut a la naturalesa intangible dels costos. Caldrà considerar les indemnitzacions per incompliment, les pèrdues d'imatge, etc. De vegades aquest cost queda definit per un acord entre el client i el proveïdor on es fixin les compensacions corresponents.

Si la demanda és coneguda i homogènia en el temps no hi ha raó que justifiqui una possible ruptura d'estocs. No obstant, de vegades resulta més convenient diferir la demanda que permetre que arribi la ruptura d'estoc i s'acabi produint una pèrdua de demanda insatisfeta.

Designarem per  $C_D$  el **cost de la demanda diferida** (euros/unitat i any). Aquest cost ha de ser proporcional al nombre d'unitats no servides. Així, si  $C_D$  és el cost diferit d'una unitat a l'any, el cost diferit d'una unitat durant un més ha de ser  $C_D/12$ .

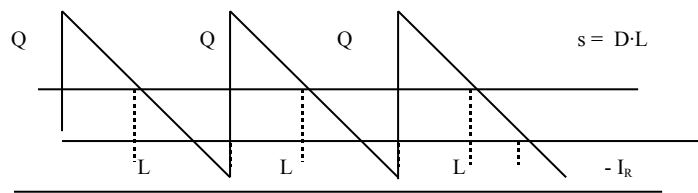
Designarem per  $I_R$  la **demanda màxima insatisfeta** com el valor màxim de la demanda que ens podem permetre de no satisfer. Així, doncs si la mida del lot abans de decidir de no satisfer  $I_R$  era de  $Q$ , ara aquest valor resultarà disminuït i el lot tindrà una nova mida de  $Q - I_R$ . En conseqüència si  $D$  és la demanda anual, el **temps d'aprovisionament** serà:

$$T = \frac{(Q - I_R)}{D}$$

Transcorregut aquest temps tindrem el nivell d'estoc a zero i començarà la ruptura d'estoc. **El temps que es deixen de servir unitats o període de ruptura** serà doncs:

$$T_{SU} = \frac{I_R}{D}$$

En aquestes condicions l'estoc agafarà valors negatius fins a  $-I_R$  en què tindrà lloc l'arribada del lot de mida  $Q$  continuant-se de nou el cicle. Com descriu el gràfic següent:



En aquest cas, si apliquem el model de Harris-Wilson, tant el cost anual de llançament  $K_L$  com el cost anual variable d'adquisició  $K_A$  no variaran, en canvi el cost anual de possessió  $K_P$  patirà un canvi degut a la variació del nivell d'estoc. A la funció de costos globals s'hi haurà d'afegir un altre terme corresponent al cost de diferir la demanda  $K_D$ .

El lot mitjà en el temps d'aprovisionament serà  $\frac{Q - I_R}{2}$

El temps d'aprovisionament és  $\frac{Q - I_R}{D}$

El lot mitjà en el període de ruptura d'estoc és 0

El període de ruptura és  $\frac{I_R}{D}$

El temps que hi ha entre l'entrada de dos lots successius és de  $\frac{Q}{D}$

El conseqüència **l'estoc mitjà** serà el producte del temps de cada període per l'estoc mitjà de cada període dividit pel temps que hi ha entre l'entrada de dos lots successius.

$$Estoc Mitjà = \frac{\frac{Q - I_R}{2} \cdot \frac{Q - I_R}{D} + 0 \cdot \frac{I_R}{D}}{\frac{Q}{D}} = \frac{(Q - I_R)^2}{2 \cdot Q}$$

A més poden determinar la **ruptura mitjana** que serà la mitjana de la quantitat que es deixa de subministrar. Aquest valor el podem determinar multiplicant el lot mitjà en període de ruptura pel temps d'aprovisionament més la mitja de la quantitat insatisfeta pel període de ruptura dividit pel temps que hi ha entre dos entrades consecutives de dos lots.

$$Ruptura Mitjana = \frac{0 \cdot \frac{Q - I_R}{D} + \frac{I_R}{2} \cdot \frac{I_R}{D}}{\frac{Q}{D}} = \frac{I_R^2}{2 \cdot Q}$$

El **cost global** en aquest cas serà el següent:

$$K = K_L + K_P + K_D = C_L \cdot \frac{D}{Q} + C_P \cdot \frac{(Q - I_R)^2}{2 \cdot Q} + C_D \cdot \frac{I_R^2}{2 \cdot Q} \quad \text{en €/any}$$

A partir de la funció de cost global es pot determinar les mides òptimes del lot  $Q^*$  i de la ruptura  $I_R^*$ . Per obtenir aquestes fórmules només cal derivar  $K$  respecte a  $Q$  i  $I_R$  i igualar a zero aquestes dues derivades. El resultat obtingut és el següent:

$$\text{Lot òptim } Q^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_L \cdot D \cdot (C_P + C_D)}{C_P \cdot C_D}}$$

$$\text{Ruptura òptima } I_R^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_L \cdot D \cdot C_P}{(C_P + C_D) \cdot C_D}}$$

$$\text{Cost òptim gestió inventari } K^* = \sqrt{\frac{2 \cdot C_L \cdot C_P \cdot D \cdot C_D}{C_P + C_D}} \text{ €/any}$$

#### ACTIVITAT

1.- PISTA-QUATRE és una empresa de compra-venda de material informàtic que importa ordinadors a un constructor de Taiwan al preu de 960 € la unitat, en el qual estan inclosos els costos de tramesa, l'assegurança, la importació i d'altres despeses. Cada cop que es fa una comanda hi ha un cost addicional de 2250 € que és independent del nombre d'ordinadors sol·licitats. L'ordre de comanda s'ha de llençar un més abans del moment en què cal disposar dels ordinadors. PISTA-QUATRE subministra els ordinadors a través de les seves tendes especialitzades en informàtica a un preu de mercat de 1200€/ unitat que és un preu força competitiu perquè els clients estiguin disposats a esperar i no se'n vagin a la competència. No obstant, PISTA-QUATRE ha establert un tipus de contracte amb els clients de manera que cada mes d'endarreriment li farà al client un 5% de descompte sobre el preu de venda. El descompte serà proporcional a la magnitud del retard. PISTA-QUATRE disposa d'un magatzem amb capacitat per a contenir la demanda de tot l'any que és de 10.000 ordinadors. Aquesta demanda es distribueix de manera homogènia al llarg de temps. El cost de possessió d'estoc es comptabilitza al 25% anual sobre la inversió en inventari. Quin serà el marge de benefici més gran, en mitjana, que l'empresa pot obtenir de cada ordinador i que ha de fer per aconseguir-lo? La resposta a aquestes preguntes les trobaràs seguint els passos següents:

1.- Amb aquestes dades determina:

- a) El cost de llançament  $C_L$
- b) El cost d'adquisició  $C_A$
- c) La taxa de manteniment d'inventari  $i$
- d) El cost de possessió  $C_P = i \cdot C_A$
- e) El preu de venda  $PV$
- f) La taxa de descompte  $r$
- g) El cost diferit  $C_D = r \cdot PV$
- h) Demanda anual  $D$

2.- Amb les dades inicials calcula :

- i) El cost òptim  $K^*$
- j) El lot òptim  $Q^*$
- k) La ruptura òptima  $I_R^*$

3.- Per a determinar el marge de benefici més gran, en mitjana, que l'empresa pot obtenir de cada ordinador i què ha de fer per aconseguir-ho cal seguint els passos següents:?

l) Cost anual d'adquisició  $K_A = C_A \cdot D$

m) Ingressos anuals  $ING = PV \cdot D$

n) Marge anual màxim  $MAM = ING - K_A - K^*$

o) Marge unitari màxim  $MUM = \frac{MAM}{D}$

p) Nombre de comandes a l'any  $N = \frac{D}{Q^*}$

q) Temps del cicle d'aprovisionament  $T = \frac{1}{N}$

## 7.11.- EXERCICIS

1) CAPRADO és un supermercat que està obert tot l'any. Entre els productes que ven hi ha un detergent d'una marca determinada a 9 € que li proporciona un subministrador que està a 1000 km de distància. Quan el gerent del supermercat detecta que no hi ha gaires existències envia una furgoneta que li permet carregar 3000 ampolles i que li representa un cost de transport de 100 euros per viatge. La demanda d'aquest detergent és molt regular, de manera que els clients consumeixen unes 30 ampolles al mes.. El cost d'oportunitat del diner és del 3% anual.

2) AFRET és una enginyeria que realitza projectes d'instal·lacions de climatització en edificis. El director comercial adquireix panells de fibra per a conductes en capsas de 20 unitats a un preu de 6 euros cada planxa. Aquest preu el pot aconseguir ja que disposa d'un gran magatzem i per això fa unes comandes de 500 capsas amb uns camions que li comporten unes despeses de 100 euros per viatge. La demanda de planxa es molt regular i sol ser de 10 capsas per mes. El cost d'oportunitat del diner és de 10%.

3) Dos majoristes A i B de bombes tenen els seus respectius magatzems situats un a prop de l'altre. La demanda d'un determinat article és idèntica per tots dos  $D=12.000$  unitats any; les vendes es poden considerar homogènies en el temps. Els costos de llançament i possessió de l'article també són iguals  $C_L= 300$  euros/comanda i  $C_p= 18$  euros/unitat. En aquestes condicions:

- a) Quin estalvi global podrien aconseguir els majoristes si decidissin d'optimitzar conjuntament el costos de gestió dels estocs?
- b) Quina seria la reducció del nivell d'estocs?

4) Dos majoristes de productes d'aire condicionat tenen els seus respectius magatzems situats un a prop de l'altre. La demanda d'un determinat article és idèntica per tots dos  $D=3.230$  unitats any; les vendes es poden considerar homogènies en el temps. Els costos de llançament i possessió de l'article també són iguals  $C_L= 60$  euros/comanda i  $C_p= 800$  euros/unitat. En aquestes condicions:

- a) Quin estalvi global podrien aconseguir els majoristes si decidissin d'optimitzar conjuntament el costos de gestió dels estocs?
- b) Quina seria la reducció del nivell d'estocs?

5) Un fabricant de cotxes necessita 10.000 unitats d'un component. Aquesta demanda es distribueix de manera uniforme al llarg de l'any. Cada vegada que llança una comanda té un cost fix de 100 euros i ha estimat que la taxa de manteniment d'inventari és a la ratlla del 30%. El proveïdor ofereix al nostre fabricant un pla de descompte uniforme que es resumeix a la taula següent:

<i>Quantitat</i>	<i>Preu unitari (euros/unitat)</i>
0 –9.999	60 euros
10.000-24.999	58 euros
25.000-49.999	57 euros
més de 50.000	55 euros

Quina serà la mida de lot més adequada i quants reaprovisionaments haurà de fer al llarg de l'any?

6) COBROLI és un fabricant de màquines frigorífiques i necessita 7.000 vàlvules per any. Aquesta demanda es distribueix de manera uniforme al llarg de l'any. Cada vegada que llança una comanda té un cost fix de 60 euros i ha estimat que la taxa de manteniment d'inventari és a la ratlla del 50%. El proveïdor ofereix al nostre fabricant un pla de descompte uniforme que es resumeix a la taula següent:

<i>Quantitat</i>	<i>Preu unitari (euros/unitat)</i>
0 –1.000	60 euros
1.001-2.000	50 euros
2.001-3.000	40 euros
més de 3.000	35 euros

Quina serà la mida de lot més adequada i quants reaprovisionaments haurà de fer al llarg de l'any?

7) INFOBIT és una empresa de compra-venda de material informàtic que importa ordinadors a un constructor de Taiwan al preu de 800 € la unitat, en el qual estan inclosos els costos de tramesa, l'assegurança, la importació i d'altres despeses. Cada cop que es fa una comanda hi ha un cost addicional de 2500 € que és independent del nombre d'ordinadors sol·licitats. L'ordre de comanda s'ha de llençar un més abans del moment en què cal disposar dels ordinadors. INFOBIT subministra els ordinadors a través de les seves tendes especialitzades en informàtica a un preu de mercat de 1000€/unitat que és un preu força competitiu perquè els clients estiguin disposats a esperar i no se'n vagin a la competència. No obstant, INFOBIT ha establert un tipus de contracte amb els clients de manera que cada mes d'endarreriment li farà al client un 10% de descompte sobre el preu de venda. El descompte serà proporcional a la magnitud del retard. INFOBIT disposa d'un magatzem amb capacitat per a contenir la demanda de tot l'any que és de 3.000 ordinadors. Aquesta demanda es distribueix de manera homogènia al llarg de temps. El cost de possessió d'estoc es comptabilitza al 35% anual sobre la inversió en inventari. Quin serà el marge de benefici més gran, en mitjana, que l'empresa pot obtenir de cada ordinador i que ha de fer per aconseguir-lo?